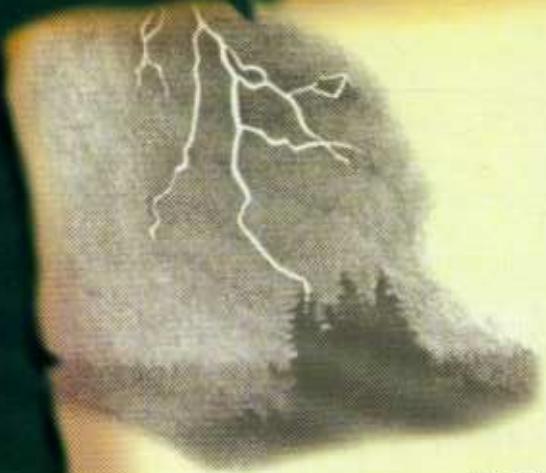
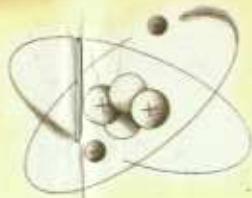




मनोविकास प्रकाशन



गेल्या दोनशे वर्षीपासून शास्त्रज्ञांचे उष्ण व घंड तापमान मोजण्याचे प्रयोग चालू आहेत. सर्वांत घंड म्हणजे किंतु घंड ही त्यांच्यापुढील मोठीच समस्या होती. तापमापकाच्या इतिहासाची नोंद घेताना फॅरनहाइट, केल्विन, सेल्सियस या शास्त्रज्ञांची नावे आजही त्यांनी बनविलेत्या तापमापकांच्या रूपाने आपल्या तोंडी आहेत. तापमानाच्या मोजमापाच्या अभ्यासाचा वेध घेताना त्यांना योगायोगाने मिळालेली काही उत्तरे थक्क करणारी होती. अत्यंत कमी तापमानाला काही द्रव्यातून ऊर्जेचे वहन होताना त्यात अजिबातच विरोध नसतो असा आश्चर्यकारक शोध त्यांना लागला! याताच आपण अतिवाहकता म्हणतो. या 'योगायोगाने' लागलेल्या शोधामुळे आपल्या जीवनात आणि कार्यपद्धतीत क्रांतिकारी बदल घडू शकतात.



शोधांच्या कथा अतिवाहकता

आयझॅक आसिमोव्ह



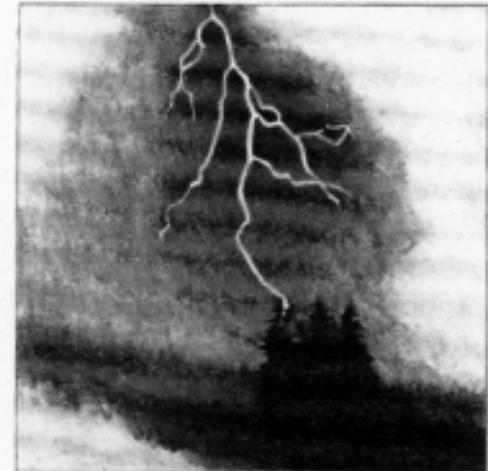
अनुवाद-सुजाता गोडबोले

शोधांच्या कथा

अतिवाहकता

आयझॅक आसिमॉह

अनुवाद : सुजाता गोडबोले



मनोविकास प्रकाशन

अनुक्रमणिका

Shodhanchya Katha - Atiwhakata
शोधांच्या कथा - अतिवाहकता

प्रकाशक | अरविंद पनःशयम पाटकर
मनोविकास प्रकाशन, सदानिका क्र. ३/अ, चौथा मजला, फक्ती टॉवर्स,
६७२, नारायण वेठ, न. म. वि. समोरील गल्ली, पुणे - ४११०३०.
ट्रायलन : ०२०-६५२६२९५०

Website : www.manovikasprakashan.com
Email : manovikaspublishing@gmail.com

© हक्क सुरक्षित

मुख्यपृष्ठ | गिरीश सहस्रबुद्धे अक्षरजुल्यां | गणराज उद्योग, पुणे.
मुद्रक | बालाजी एन्टरप्रायजेस, पुणे. प्रथमावृत्ती | ११ जून २०१२
ISBN : 978-93-81636-91-6

मूल्य | रुपये ३५.

१	तापमान मोजणे-४
२	कमीत कमी तापमानाचा शोध-१२
३	वायूंचे द्रवात रूपातर-२१
४	हेलियमशी झाटापट-३२
५	अतिवाहकता-४३

१ | तापमान मोजणे

शास्त्रज्ञांना प्रश्न विचारण्याची सवय असते. पाण्याचे तापमान खाली गेल्यास त्याचे बफर्ट रूपांतर का होते? सर्वांठं तापमान म्हणजे किती? कोरड्या बफर्ची (झाय आइस) गुणधर्म नेहमीच्या बफपिक्षा निराळे का असतात? प्रयोगशाळेत, त्याचप्रमाणे प्रत्यक्षातदेखील संशोधक उत्तर मिळवण्यासाठी पायरी पायरीने पुढे जातात.

काही वेळा जगाच्या निरनिराळ्या भागांतील शास्त्रज्ञ एकाच वेळी एकाच समस्येबाबत संशोधन करत असतात. कधीकधी जुन्या शास्त्रज्ञांनी केलेल्या कामाच्या आधाराने पुढे जाऊन नवे शास्त्रज्ञ आपले कार्य सुरु करतात.

एखाद्या प्रश्नाचे उत्तर शोधताना शास्त्रज्ञांना काही वेळा अनपेक्षितरीत्या एखादा नवाच शोध लागतो. ते विचारत नसलेल्या प्रश्नाचेदेखील कधीतरी अचानक उत्तर मिळते. शास्त्रांचा अभ्यास करताना मिळालेले असे आश्चर्याचे धक्के म्हणजे शास्त्रज्ञांना मिळणारा बोनसच!

तापमानासंबंधी सर्व काही जाणून घेण्याच्या प्रयत्नांत असताना अशीच एक अनपेक्षित घटना घडली. त्यांना 'सुपरकंडकिटव्हिटी' म्हणजेच 'अतिवाहकतेचा' शोध लागला. या शोधाने आपले रोजचे जग बदलूनच गेले.

या आश्चर्याचा, म्हणजे ऊर्जेचे वहन होताना तारा किंवा मंडले यांच्याद्वारे थोडीदेखील ऊर्जा नष्ट न होणे, याचा आपण आता पायरी पायरीने मागोवा घेऊ या.

रात्रीपेक्षा दिवसाचे तापमान अधिक असते हे आपणा सर्वांनाच

माहीत आहे. हिवाळ्यापेक्षा उन्हाळ्यात अधिक उष्मा जाणवतो.

उकळते पाणी किंवा जळती काढी अतिशय गरम असतात, त्यांच्यामुळे आपल्याला इजा होऊ शकते. तसेच कोरडा बर्फांही अतिशय थंड असतो व त्यानेही इजा होऊ शकते.

म्हणूनच एखादी गोट किंवा गरम अथवा किंवा थंड आहे हे आपण दर वेळेस हात लावून किंवा स्पर्श करून पाहत नाही. ते जर अतिशय गरम किंवा थंड असेल, तर आपल्याला यातना होतील. हात लावल्यावर गरम किंवा थंड वस्तूचा स्पर्श जरी सुखकारक असला, तरीही केवळ स्पृशनी पाहिल्यास ती वस्तू नेमकी किंवा गरम अथवा थंड आहे हे सांगणे कठीणच होईल.

म्हणूनच आपल्या स्पृशपिक्षा ज्यावर विसंबता येईल अशा एखाद्या उपकरणाची आपल्याला गरज भासते.

वस्तू गरम अथवा थंड झाल्या तर त्यांच्यात इतरही काही बदल घडून येतात. उदाहरणार्थ, बहुतेक वस्तू गरम होताना थोड्याशा प्रसरण पावतात, थोड्याशा मोठ्या होतात. तसेच थंड होताना त्या थोड्याशा आकुंचन पावून लहान होतात.

हे बदल सूक्ष्म असतात व सहसा आपल्या लक्षातही येत नाहीत. परंतु आपल्याकडे आतून खोलगट आकाराचा व द्रव स्वरूपातील पान्याने भरलेला एक छोटासा बल्ब किंवा गोळा आहे अशी कल्पना करा. त्याच गोळ्याला एक लांब काचेची पोकळ नळी जोडली आहे. या नळीत काहीच नाही म्हणजे हवादेखील नाही. म्हणजेच ही 'निवात पोकळी' (इंग्रजीत 'वॉक्युम' या तेंटिन शब्दाचा अर्थ आहे 'रिकामी') आहे.

त्यानंतर हा पारा गरम केला अशी कल्पना करा. तो थोडासाच प्रसरण पावेल आणि त्यातील थोडा पारा त्या गोळ्याला जोडलेल्या बारीक नळीत ढकलतला जाईल. पारा जितका अधिक गरम होईल, तसे त्याचे अधिक प्रसरण होईल व नळीतील स्तंभाची उंची वाढेल.

पारा जर थंड केला तर त्याचे आकुंचन होईल व स्तंभ लहान होईल.

पान्याच्या स्तंभाच्या उंचीवरून पारा किती गरम अथवा थंड आहे हे सांगता येईल, म्हणजेच त्याच्या भोवतीचे पाणी अथवा हवाही किती गरम वा थंड आहे हे समजेल. अशा उपकरणाला आपण 'तापमापक' (इंग्रजीत 'थर्मामीटर' या ग्रीक शब्दाचा अर्थ आहे 'उष्णता मोजणे') म्हणतो. पान्याच्या स्तंभाच्या उंचीवरून आपल्याला 'तापमान' समजते.

गेंब्रिएल डॅनिएल फॅरनहाइट (१६८६-१७३६) नावाच्या डच शास्त्रज्ञाने पान्याचा असा पहिला तापमापक १७१४ साली तयार केला. तापमान आकड्यांमध्ये मोजता याचे यासाठी त्याने पान्याचा स्तंभ असणाऱ्या काचेच्या रिकाम्या नळीवर सारख्या अंतरावर खुणा केल्या व त्यांना १, २, ३ असे आकडे घातले. प्रत्येक भागाला 'अंश' किंवा 'डिग्री' असे म्हणतात. 'डिग्री' या लैंटिन शब्दाचा अर्थ आहे 'पायरी'.

पण मोजायला सुरुवात कुठपासून करायची? कमी तापमान मिळण्यासाठी बफचे तुकडे करून त्यात पाणी मिसळणे हा एक मार्ग आहे. तापमापकाचा पारा भरलेला 'बल्ब' किंवा खोलगट भाग जर अशा मिश्रणात ठेवला, तर पान्याच्या स्तंभाची उंची पाण्याचा 'गोठण बिंदू' मानता येईल व त्याला शून्य तापमान म्हणता येईल.

परंतु पाण्याचा गोठण बिंदू पुरेसा थंड नाही असे फॅरनहाइटचे मत होते, म्हणून त्याने या पाण्यात मीठ मिसळले. साध्या पाण्यापेक्षा मीठ असलेले पाणी गोठण्यासाठी तापमान आणखीच कमी असावे लागते. कमीत कमी तापमान मिळण्यासाठी त्याने पाण्यात अधिकाधिक मीठ घातले व त्या वेळच्या पान्याच्या स्तंभाला शून्य असा आकडा घातला.

शुद्ध पाणी गोठण्याच्या बिंदूला व शुद्ध पाणी उकळण्याच्या बिंदूलाही त्याने खुणा केल्या. या गोठण बिंदूपासून ते उत्कलन

बिंदूपर्यंतच्या स्तंभाचे त्याने १८० सारखे भाग केले व ते शून्याच्या खुणेपर्यंत आणले.

या फॅरनहाइट मोजपट्टीवर पाणी गोठण्याचा बिंदू ३२ या खुणेवर येतो व उत्कलन बिंदू येतो २१२ या खुणेवर. म्हणून पाण्याचा गोठण बिंदू '३२ अंश फॅरनहाइट' व उत्कलन बिंदू '२१२ अंश फॅरनहाइट' आहे असे आपण म्हणतो.

या पद्धतीच्या मोजमापानुसार मानवी शरीराचे तापमान सामान्यतः ९८.६ अंश फॅरनहाइट असते. एखादी व्यक्ती आजारी असेल, तर हे तापमान १०० अंश फॅरनहाइट किंवा त्याहूनही अधिक वाढते. मग आपण 'ताप आला' असे म्हणतो.

फॅरनहाइट मोजपट्टी तशी फारशी सोयीस्कर नाही. पाण्याचा गोठण बिंदू ब उत्कलन बिंदू साध्या आकड्यात मांडलेले नाहीत. १७४२ साली ऑर्डर्स सेल्वियस (१७०१-१७४४) या स्वीडिश शास्त्रज्ञाने एक निराळी पट्टी सुचवली. त्याने पाण्याच्या गोठण बिंदूला म्हटले '०' अंश व उत्कलन बिंदूला म्हटले '१००' अंश.

आता आपण पाण्याचा गोठण बिंदू '० अंश सेल्वियस' व उत्कलन बिंदू '१०० अंश सेल्वियस' आहे असे म्हणून शकतो. या पद्धतीनुसार मानवी शरीराचे तापमान सामान्यतः ३७ अंश सेल्वियस असते.

ही सेल्वियस पद्धती इतकी लोकप्रिय झाली, की एक देश सोहून जगातील सर्व देशांत तीच वापरली जाते. अमेरिका या जगातील एकमेव देशात फॅरनहाइट पद्धत वापरली जाते. अमेरिकेतदेखील शास्त्रज्ञ मात्र सेल्वियस पद्धतीच वापरतात.

या पुस्तकातदेखील मी सेल्वियस पद्धतीच वापरणार आहे.

पान्याचे तापमापक ही तापमान मोजण्याची एक पद्धत आहे; पण ती काही एकमेव पद्धत नाही. पारा उकळू लागेल त्याहूनही अधिक तापमान मोजण्यासाठी किंवा पारा गोठून जाण्याच्याही



जॉन हर्वर्ड सेलिशियस

खालचे तापमान मोजण्यासाठी इतर मार्गांचा अवलंब करावा लागतो. पण या पुस्तकात आपण त्यांचा विचार करणार नाही.

तापमान किती उच्च असू शकेल? उन्हाळ्यातील सूर्यमुळे आपल्या सभोवतीची हवा गरम होते. पृथ्वीवर आतापर्यंत मोजण्यात आलेले सर्वात उच्च तापमान १३ सप्टेंबर १९२२ या दिवशी लिबिया नावाच्या देशात नोंदण्यात आले. सावलीतील हे तापमान होते ५८ अंश सेलिशियस (किंवा १३६ अंश फॅरनहाइट).

पृथ्वीच्या गरम भागावर सूर्य एका वेळी सुमारे १२ तास तळपत असतो; व वान्याबरोबर थंड हवा येते. चंद्रावर सूर्य साधारणपणे एका वेळी दोन आठवडे तळपतो; आणि चंद्रावर हवा नाही, म्हणून थंड वाराही नाही. चंद्रावरचे तापमान ११७ अंश सेलिशियसपर्यंत असू शकते, म्हणजे ते पाण्याच्या उत्कलन बिंदूपेक्षाही अधिक होते.

एखाद्या मोठ्या वस्तूच्या केंद्रस्थानातील तापमान त्याच्या पृष्ठभागापेक्षा अधिक असते. पृथ्वीच्या केंद्रस्थानातील तापमान सुमारे ६,००० अंश सेलिशियस इतके आहे. गुरुच्या केंद्रातील तापमान ५४,००० अंश सेलिशियस आणि सूर्याच्या अंतर्भागातील तापमान १,५०,००,००० (एक कोटी ५० लक्ष) अंश सेलिशियस असावे, असा अंदाज आहे.

सूर्यपिक्षा आकाराने मोठे असणारे तारे सूर्याहूनही अधिक गरम आहेत. काहीच्या केंद्रभागातील तापमान अऱ्जावधी अंश असण्याची शक्यता आहे.

विश्वाची जेव्हा प्रथम निर्मिती झाली व जेव्हा सर्व द्रव्य एका लहानशा अणूपेक्षाही लहान कणात एकवटलेले होते, त्या वेळी त्याचे तापमान अऱ्ज, अऱ्ज, अऱ्ज अंशाहूनही अधिक असावे, असा अंदाज आहे. म्हणजेच तापमान किती उच्च असू शकेल

किंवा वस्तू किती उण असू शकतील याला काही अंतच नाही.

आता दुसऱ्या टोकाला जाऊन वस्तू किती थंड असू शकतील याचा विचार करू या.

पृथ्वीवरील तापमान शून्य अंश सेलिंयसच्या कितीतरी खाली जाऊ शकते. तापमान जर शून्याखाली दहा अंश असेल, तर आपण म्हणतो 'गोठण बिंदूच्या खाली १० अंश' किंवा '-१० अंश सेलिंयस' म्हणणे अधिक सोयीचे होते. '-' उणे या चिन्हाने शून्याखालचे तापमान दर्शवते जाते.

दक्षिण ध्रुवावरील अंटाकिर्टका खंड हा पृथ्वीवरील सर्वात थंड प्रदेश आहे. रशियन शास्त्रज्ञांनी अंटाकिर्टकावर महासागरापासून सर्वात दूरच्या ठिकाणी आपले संशोधन केंद्र उभारले आहे, ते अंटाकिर्टकावरील सर्वात थंड ठिकाण मानता येईल. २२ जुलै १९८३ रोजी तेथे -८९.२ अंश सेलिंयस अशी नोंद झाली. पृथ्वीवरील ते आतापर्यंतचे सर्वात कमी तापमान आहे.

चंद्रावर इतर ठिकाणांहून ऊब आणण्यासाठी हवाच नसल्याने तेथील तापमान याहूनही अधिक थंड होऊ शकते. चंद्रावरील रात्र दोन आठवड्यांची असते व त्या वेळी तेथील तापमान कमी कमीच होत जाते. या लांबलचक रात्रीच्या अखेरीस चंद्रावरील तापमान -१२७ अंश सेलिंयस इतक्यापर्यंत जाऊ शकते.

सूर्यापासून खूप दूर असणाऱ्या ग्रहावरील तापमान याहूनही कमी असते. सर्वात दूरचा ग्रह प्लूटोच्या पृष्ठभागावरील तापमान -२१८ अंश सेलिंयस असावे, असा अंदाज आहे.

याचा अर्थ, एखादी वस्तू किती थंड असू शकेल याची काही सीमाच नाही का? तापमान किती कमी होऊ शकेल याला काहीच मर्यादा नाही का?

आश्चर्य म्हणजे, 'मर्यादा आहे' असे याचे उत्तर आहे. तापमान जरी कितीही वाढू शकत असले, तरी ते किती कमी होऊ शकेल

याला मर्यादा आहे. तापमान कमीत कमी किती असू शकेल ते ठरलेले आहे; व काहीच त्याहून अधिक थंड असू शकत नाही.

नेहमीचे शून्य हे तापमान हा केवळ एक सोयीचा आकडा आहे. पाण्याच्या गोठण बिंदूला 'शून्य अंश सेलिंयस' मानणे हे सेलिंयससाठी सोयीचे होते; पण तापमान त्याहूनही कमी असू शकते. फॅरनहाइटने मिठाच्या पाण्याच्या गोठण बिंदूला 'शून्य अंश फॅरनहाइट' म्हणणे सोयीचे मानले; पण तापमान त्याहूनही कमी होऊ शकते.

अंटाकिर्टकावरील सर्वात कमी तापमानाला किंवा चंद्रावरील अथवा प्लूटोवरील कमीत कमी तापमानाला आपण 'शून्य अंश' मानले, तरीही तापमान त्याहूनही कमी होऊ शकते. पण आपण जर सर्वात कमी तापमानाला 'शून्य अंश' मानले, तर मात्र ते 'खरे शून्य' (रियल ड्रिंग) तापमान असेल.

ज्या तापमानाहून काहीच अधिक थंड असू शकणार नाही त्याला जर आपण 'शून्य अंश' मानले, तर त्याला 'केवल शून्य' (ऑब्सोल्यूट ड्रिंग) म्हणता येईल.

पण मग असा प्रश्न येतो, की शास्त्रज्ञांना असे 'केवल शून्य' असेल अशी कल्पना तरी कशी सुचली?

२

कमीत कमी तापमानाचा शोध

गियोम अमोन्टॉ (१६६३-१७०५) या फ्रेंच शास्त्रज्ञाला 'केवल शून्य' (अंबसोल्यूट झिरो) तापमान असू शकेल अशी कल्पना सर्वप्रथम सुचली.

तापमान मोजण्यामध्ये अमोन्टॉला खूपच स्वारस्य होते; पण फॅरनहाइटने पाच्याचे तापमापक शोधून काढण्याच्या पूर्वीच्या काळात तो होऊन गेला. पाच्याएवजी हवा गरम झाली की ती कशी प्रसरण पावते व थंड झाल्यावर कशी आकुंचन पावते यावरून तापमान मोजण्याचा त्याने प्रयत्न केला. अशा प्रकारचे 'हवेचे तापमापक' फारसे चांगले नाही, पण अमोन्टॉला हवेच्या या प्रसरण- आकुंचनात फारच स्वारस्य निर्माण झाले.

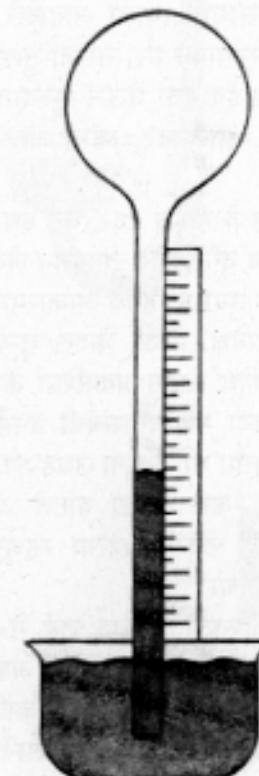
हवा जसजशी थंड होते, तशी ती एका विशिष्ट गतीने आकुंचन पावते, असे त्याच्या लक्षात आले. शिवाय इतर प्रकारचे वायूदेखील अशाच स्थिर गतीने आकुंचन पावतात, असेही त्याच्या लक्षात आले. म्हणून हवा किंवा इतर कोणताही वायू जर अधिकाधिक थंड होत गेला, तर त्याचे आकारमान कमी कमी होत जाईल व अखेर ते आकारमान शून्यापर्यंत येऊन घोचेल.

आकुंचन पावूनदेखील वायूचे आकारमान शून्याच्या खाली जाऊ शकणार नाही याचाच अर्थ, तापमान याहून आणखी कमी होऊ शकणार नाही. एकदा वायूने शून्य आकारमानाची पातळी गाठली की तो असेल 'परम-निरपेक्ष' किंवा 'केवल शून्य' ('अंबसोल्यूट झिरो') व त्याहून थंड काहीच असू शकणार नाही.

अमोन्टॉने हा शोध १६९९ साली लावला, पण कोणावरच त्याचा फारसा प्रभाव पडला नाही व बराच काळपर्यंत त्याचे कार्य

विस्मरणातच गेले.

त्यानंतर १७८७ साली जॅक अलेकझांडर चार्ल्स (१७४६-१८२३) या आणखी एका फ्रेंच शास्त्रज्ञानेही तापमानाबरोबर वायूंच्या बदलत्या आकारमानाचा अभ्यास केला. या वेळेपर्यंत पाच्याच्या तापमापकाचा शोध लागला असल्याने अमोन्टॉपेक्षा चार्ल्सला त्याचा



गेलिलिओचा हवेचा तापमापक

बराच फायदा मिळाला.

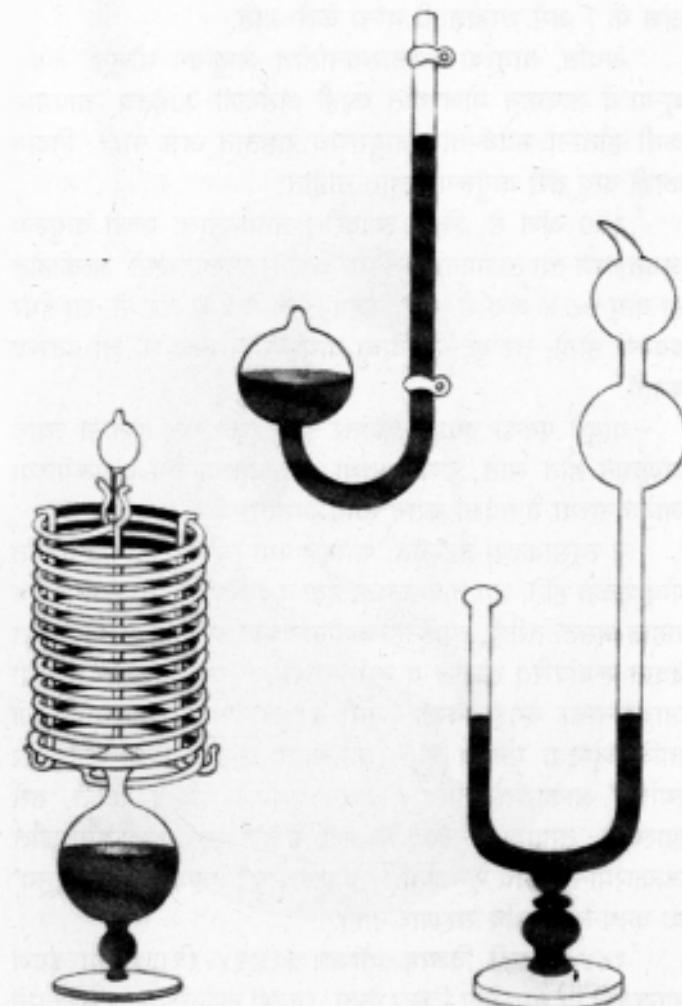
जर ० अंश सेल्पियस तापमानाची हवा घेऊन ती -१ अंशापर्यंत थंड केली तर ती मूळच्या आकारमानाच्या सुमारे १/२७० इतकी आकुंचन पावते, असे चाल्सला दिसून आले. ० अंश तापमानाला प्रत्येक कमी होणाऱ्या एक अंशाबरोबर त्याचे आकारमान आणखी १/२७० या प्रमाणात कमी होत होते. इतर वायूंनाही हाच गुणधर्म लागू होत असल्याचे त्याला आढळले.

दुसऱ्या शब्दात सांगायचे तर, समजा तुम्ही ० अंश सेल्पियस तापमानाची २७० घन इंच हवा घेऊन सुरुवात केलीत, तर त्याचे तापमान -१ अंश से. झाल्यावर त्याचे आकारमान होईल २६९ घन इंच.

-२ अंश से. ला ते होईल २६८ घन इंच, -३ अंश से. ला ते असेल २६७ घन इंच वरीरे वरीरे. तापमान जेव्हा -२७० अंश से. होईल तेव्हा किंवा त्या सुमारास हवेचे आकारमान ० घन इंच होईल, म्हणजेच ते 'परम-निरपेक्ष' किंवा 'केवल शून्य' असेल.

चाल्सने त्याचे शोध लिहून प्रकाशित केले नाहीत, त्यामुळे इतर शास्त्रज्ञांना त्याच्या संशोधनासंबंधी काहीच माहीत नव्हते. कदाचित ही 'केवल शून्य'ची कल्पना उघडपणे बोलत्यास लोकांना फारच विचित्र वाटेल, असे त्याला वाटले असेल. पण त्याने खाजगीरीत्या या नोंदी ठेवल्या होत्या म्हणून त्याच्या कल्पना आपल्याला माहीत झाल्या.

त्यानंतर १८०२ साली जोसेफ तुई गे-ल्यूसाक (१७७८-१८५०) या आणखी एका फ्रेंच शास्त्रज्ञानेही अशा प्रकारचे संशोधन केले. त्याचेही तेच निष्कर्ष होते व ते त्याने प्रकाशित केले, त्यावरून मग बन्याच शास्त्रज्ञांनी 'केवल शून्य' या कल्पनेचा विचार करायला सुरुवात केली व 'केवल शून्य' म्हणजे नेमके किंती तापमान असेल हे शोधण्याचे प्रयत्न सुरु झाले.



सतराव्या शतकातील तापमापके

आता 'केवल शून्य' म्हणजे - २७३.१५ अंश से. (-४५९.६७ अंश फॅ.) असे शाखज्ञांनी मान्य केले आहे.

अर्थात, वायूच्या आकारमानातील आकुंचन मोजून 'केवल शून्या'चे तापमान मोजण्यात काही अडचणी आहेतच. तापमान कमी होताना सर्वच वायू वायुरूपच राहतात असे नाही. निदान काही वायू तरी वायुरूप राहात नाहीत.

१०० अंश से. किंवा त्याकरील तापमानाला पाणी वायुरूप असते; पण त्या तापमानाला ते थंड केल्यास द्रवरूप बनते. अल्कोहोल हा वायू ७८.४ अंश से. ला द्रवरूप होतो. ३४.६ अंश से. ला इथर द्रवरूप होतो, तर ब्रुटेन नावाचा वायू -०.५ अंश से. ला द्रवरूप बनतो.

वायूचे एकदा द्रवात रूपांतर झाले, की थंड होताना त्याचे आकुंचन होत जाते; पण त्याच्या आकुंचनाचा वेग वायुरूपाच्या आकुंचनाच्या वेगापेक्षा बराच कमी असतो.

गे ल्यूसाकच्या काळात, शाखज्ञ ज्या न्यूनतम तापमानापर्यंत पोचू शकत होते, त्या तापमानाला हवा व इतर काही वायू वायुरूपच राहात असत. तरीही, त्याहूनही कमी तापमान झाल्यास ते वायूदेखील द्रवात रूपांतरित होतील व त्याहून अधिक थंड झाल्यास त्यांच्या आकुंचनाचा वेगाही बराच कमी होईल, अशी कल्पना करणे तार्किकदृष्ट्या योग्यच होते. वास्तवात अतिशय थंड झाल्यावर त्यांच्या आकारमानातील आकुंचन पूर्णपणे थांबूही शकते. तसे झाल्यास, तापमान -२७३.१५ अंश से.च्या खाली जाऊनदेखील आकारमान कधीच शून्यापर्यंत पोचणार नाही, म्हणजे 'केवल शून्य' या कल्पनेला अर्धच राहणार नाही.

१८४८ साली विल्यम थॉम्सन (१८२४-१९०७) या इंग्रज शाखज्ञाने या समस्येचा विचार केला. (काही काळाने इंग्रज सरकारने थॉम्सनला 'बॅरन केल्हिन' असा मानाचा किताब दिला. तेव्हापासून



जोसेफ गे, ल्यूसाक

सामान्यतः तो 'लॉर्ड केलिंहन' या नावानेच ओळखला जातो, काही वेळा हा किताब मिळण्याआधीच्या त्याच्या संशोधनाविषयी बोलतानादेखील त्याचा उल्लेख 'लॉर्ड केलिंहन' असाच केला जातो.)

सर्व द्रव्ये सूक्ष्म अणुंची व त्यांच्या गटांतून निर्माण झालेल्या रेणूंची बनलेली असतात, असा लॉर्ड केलिंहनने विचार केला. वायूमध्ये हे रेणू सहजपणे हालचाल करत असतात, द्रव व घन पदार्थात ते त्याच ठिकाणी राहिले तरी त्या जागेत ते पुढे-मागे असा जलद संचार करत असतात.

या रेणूंनी मुक्त संचार केला किंवा जखडलेल्या ठिकाणीच ते धरधरत राहिले, तरीही त्यांची हालचाल होते, याचा अर्थ त्यांच्यात ऊर्जा असते. तापमान जितके अधिक व पदार्थ जितका गरम तितकी रेणूंची हालचाल जलद, म्हणजेच त्यांच्यातील ऊर्जा अधिक. तापमान जितके कमी व वस्तू जितकी धंड तितके अणू व रेणू संथ गतीने हालचाल करतात व त्यांच्यात ऊर्जा कमी असते. वायू, द्रव व घन पदार्थ या सर्वांच्याच बाबत हे खेरे असल्याचे दिसून येते.

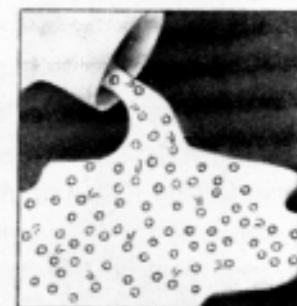
केलिंहनने असे दाखवून दिले, की आकारमानापेक्षा ऊर्जा अधिक महत्त्वाची असते. 'केवल शून्य' या ठिकाणी कोणत्याही पदार्थातील ऊर्जा शून्यावर येते व त्याहून ती कमी होऊ शकत नाही. म्हणून 'केवल शून्य' ही संकल्पना - २७३.१५ अंश या ठिकाणी खरोखरच अस्तित्वात असते. सर्व वायू अतिशय कमी तापमानाला द्रवरूप होतात की नाही याचा त्याच्याशी काहीही संबंध नाही.

१८५१ साली, सर्व तापमाने 'केवल शून्य'पासून सेत्यायस अंशात मोजली जावीत, असे लॉर्ड केलिंहनने सुचवले. अशा मोजण्याच्या पद्धतीला लॉर्ड केलिंहनच्या सन्मानार्थ 'केलिंहन स्केल' किंवा 'अॅब्सोल्यूट स्केल' असे म्हणतात.

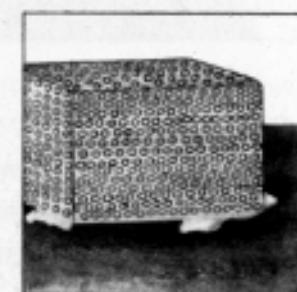
'केवल शून्य' म्हणजेच 'शून्य अंश केलिंहन' किंवा '० अंश के.'. पाण्याच्या गोठणबिंदूखाली २७३.१५ अंश म्हणजे 'केवल



वायुरूप



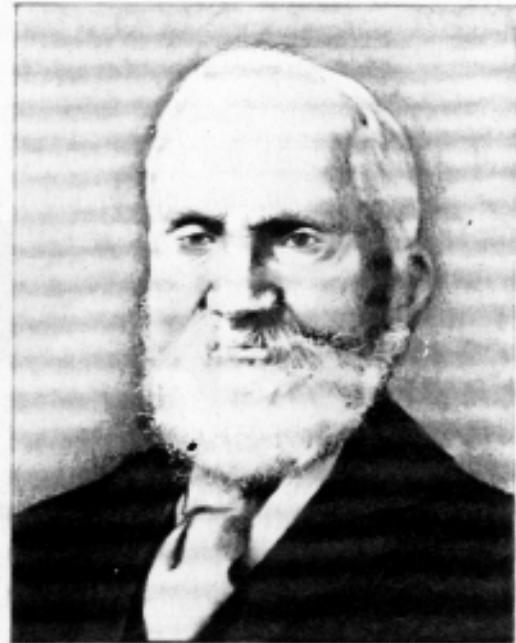
द्रवरूप



घनरूप

रेणूंचे परिवर्तन

३ | वायूचे द्रवात रूपांतर



लॉर्ड केलिंग्स

'शून्य' असत्यामुळे पाणी 'केवल शून्या'च्या वर 273.15 अंश तापमानाला किंवा 273.15 अंश के. या तापमानाला गोठते. सेल्शियस तापमानाचे केलिंग्स तापमानात रूपांतर करण्यासाठी सेल्शियस आकड्यांत 273.15 हा आकडा मिळवला म्हणजे झाले. पाणी 100 अंश सेल्शियसला उकळते आणि $100 + 273.15 = 373.15$, म्हणून पाणी 373.15 अंश के. तापमानाला उकळते.

यापुढे या पुस्तकात मी केलिंग्स मोजमापन पद्धतीचा वापर करणार आहे व सेल्शियस आकडे कंसात देणार आहे.

एकदा गे ल्यूसाकने शास्त्रज्ञांना 'केवल शून्या'चा विचार करायला प्रवृत्त केल्यापासून, हवा व इतर वायू 'केवल शून्या'हून अधिक तापमानाला द्रवरूप बनवता येतील का, याचा ते विचार करू लागले: तसे करण्यासाठी त्यांना, जरी 'केवल शून्या'पर्यंत नसले, तरी वायू बन्याच कमी तापमानापर्यंत थंड करावे लागणार होते.

परंतु गे ल्यूसाकच्या काळात तापमान इतके खाली नेण्याचा काहीच मार्ग नव्हता. खरोखरीची अत्यंत कमी तापमाने मिळण्यासाठी हिवाळ्यात सायबेरियात जाणे (किंवा नंतरच्या काळात अंटाकिर्कावर जाणे) एवढा एकच मार्ग होता. तरीही अंटाकिर्कावरील कमीत कमी तापमान होते 184 अंश के., अथवा 'केवल शून्या'च्या वर जवळजवळ 200 अंश. वायू द्रवरूप होण्यासाठी ते बहुधा पुरेसे नसणार.

1823 साली मायकेल फॅरडे ($1791-1867$) या इंग्रज शास्त्रज्ञाने आणखी एका मार्गाचा विचार केला. एखादा वायू जर दबावाखाली ठेवला, तर त्याचे रेणू एकमेकांजवळ ढकलते जातात व त्यांची द्रवात रूपांतर होण्याची प्रवृत्ती वाढते. एखादा वायू दबावाखाली ठेवून त्याचे तापमान कमी केले तर कदाचित फक्त तापमानच कमी करण्याएवजी या दोन्हीच्या एकत्रित परिणामामुळे त्याचे द्रवात रूपांतर करणे सोपे होईल.

फॅरडेने जाड काचेची एक मजबूत नळी घेऊन सुरुवात केली. तापवल्यावर त्यातून क्लोरिन नावाचा वायू तयार होईल असे एक रसायन त्याने काही प्रमाणात या नळीच्या तळाशी घातले. नळीचे दुसरे टोक त्याने वितक्कून बंद केले व मध्यभागही तापवून त्याला

बूमरँगचा आकार दिला.

त्यानंतर रसायन असलेला नळीचा भाग त्याने गरम पाण्यात ठेवला व दुसरे टोक ठेवले बर्फाच्या पाण्यात. गरम पाण्यातील टोकाला अधिकाधिक क्लोरिन वायू तयार झाला. त्यामुळे यावरील दबाव वाढत गेला. अखेर हा मोठा दबाव व बर्फाच्या पाण्याची थंडी यामुळे थंड टोकाला द्रव क्लोरिन तयार झाला.

दबाव नसल्यास क्लोरिन २३८.६ अंश के. (-३४.५ अंश से.) ला द्रवरूप होतो. सायबेरियातील हिवाळ्यात तो सहज द्रवरूप होईल. पण दबाव व कमी तापमान यांचा एकत्रितीत्या वापर करून एरवी अतिशय थंड तापमानात द्रवरूप धारण करणारे वायू या रीतीने द्रवरूप बनवता येतात.

शिवाय, कमी तापमान मिळवण्याचा एक नवा मार्ग शाळजांना यातून उपलब्ध झाला. दबावाखाली एखादा वायू द्रवरूप बनवण्यात आला आणि ती कुपी बूच किंवा तशाच प्रकारचे बाहेरील उष्णता बाहेरच ठेवणाऱ्या आवरणात ठेवली अशी कल्पना करा. नंतर ही कुपी थोडीशी उघडली की आतील द्रव उकळू लागेल व त्याचे वायूत रूपांतर होईल. वायू तयार होण्यासाठी द्रवातील रेणू एकमेकांपासून दूर व्हावे लागतील. त्यासाठी ऊर्जेची गरज असेल. ही ऊर्जा त्या द्रवातूनच यावी लागेल, म्हणजे द्रव वायुरूप होतानाच चटकन अतिशय थंडही होते.

१८३५ साली सी.एस.ए. थिलोरिये या फ्रेंच रसायनशाळजाने कर्बंद्विप्राणील वायू (कार्बन डायॉक्साइड) या वायूपासून सुरुवात केली व फॅरडेच्या पद्धतीने त्याचे द्रवांत रूपांतर केले. काचेच्या नळीपेक्षा बळकट अशा धातूच्या नळीचा त्याने यासाठी उपयोग केला. बराचसा द्रवरूप कर्बंद्विप्राणील वायू तयार झाल्यानंतर त्याने त्यापैकी काहीचे बाष्पीभवन (इकॉपोरेशन) होऊ दिले, म्हणजेच तो वायुरूप होऊ दिला. तो आणखी थंड झाल्यावर त्याचा घनरूप



मायकेल फॅरहे

कर्बंदिप्राणील तयार झाला.

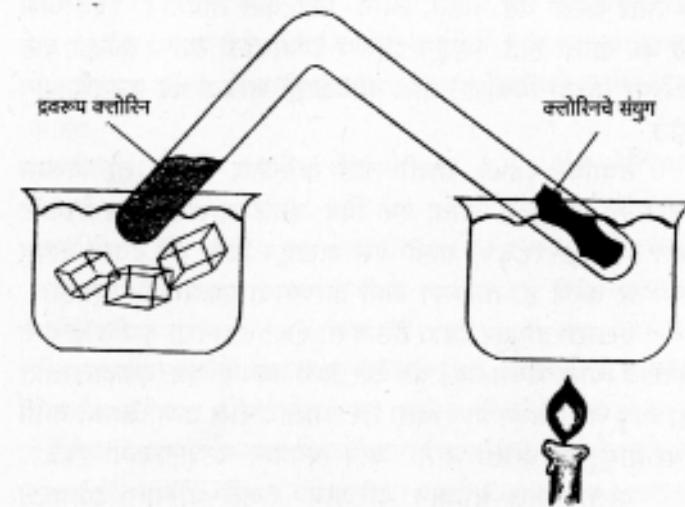
घन स्वरूपातील कर्बंदिप्राणील बर्फसारखा दिसतो; पण तो वितकून त्याचे द्रवात रूपांतर होत नाही. घन कर्बंदिप्राणीलचा ठोकळा घेतल्यास त्याचे द्रवात रूपांतर न होता संथ गतीने वायूत रूपांतर होते. म्हणूनच याला 'कोरडा बर्फ' (ड्राय आइस) म्हणतात. १९४.६ अंश के. (-७८.५ अंश से.) या तापमानाला त्याचे वायूत रूपांतर होते.

कोरड्या बर्फचे तुकडे करून ते द्रव इथरमध्ये घालता येतात, कारण तापमान अतिशय कमी झाल्याखेरीज इथर गोठत नाही. कोरड्या बर्फामुळे इथर थंड होतो व त्याचे संथ गतीने वायूत रूपांतर होते, परिणामी त्याचे तापमान अधिकच थंड होते. कोरडा बर्फ व व इथर यांच्या मिश्रणाचे तापमान १६३ अंश के. (-११० अंश से.) इतके खाली जाऊ शकते. अंटाकिंटकावरील तापमानपेक्षाही हे किंतीतरी अधिक थंड आहे.

आता, नळीच्या एका टोकाला वायू निर्माण करून दुसरे टोक बर्फाच्या पाण्यात बुडवून थंड करण्याएवजी दुसरे टोक कोरडा बर्फ व इथरच्या मिश्रणात बुडवता येते. यामुळे पूर्वी ज्या वायूंचे द्रवात रूपांतर करणे शक्य नव्हते असे अनेक वायू आता सहज द्रवात रूपांतरित करता येतात.

१८६० सालाच्या सुमारास माहीत असलेले फक्त चारच वायू द्रवरूप बनवता येत नव्हते. ते होते : ज्या दोन वायूंची मिळून हवा बनते ते प्राणवायू (ऑक्सिजन) व नत्रवायू (नायट्रोजन); कार्बन मोनॉक्साइड हा मोटारीच्या धुरात असणारा विषारी वायू आणि वजनाने सर्वात हलका असणारा हायड्रोजन वायू.

एकोणिसाव्या शतकाच्या अखेरीस शोध लागलेल्या आणखी चार वायूनाही कोरडा बर्फ व इथर यांच्या मिश्रणाने द्रवरूप देता येत नव्हते. ते होते फ्लॉरिन, आरगॉन, निअॉन व हेलियम.



फ्लॉरेचा क्लोरिनचा द्रवीकरणाचा प्रयोग

थॉमस अंड्रियूज (१८१३-१८८५) या आयरिश शास्त्रज्ञाने या वायूना द्रवरूप देण्यातील अडचणी १८६९ साली स्पष्ट केल्या. त्याला असे आढळले, की वायूचे तापमान जितके अधिक असेल, तितकाच त्याला द्रवरूप देण्यासाठी अधिक दबाव आवश्यक असतो; व आवश्यक असणारा दबाव तापमानापेक्षा अधिक गतीने वाढतो. एका विशिष्ट 'क्रिटिकल तापमान' नंतर दबाव कितीही वाढवला, तरी वायूचे द्रवात रूपांतर होत नाही. ज्या आठ वायूचे द्रवात रूपांतर करता येत नव्हते, त्यांचे 'क्रिटिकल तापमान' १६३ अंश के.च्या खाली होते. म्हणून द्रवरूप देण्यासाठी त्यांना कोरडा बर्फ व इधर यांच्या मिश्रणाने होते त्यापेक्षाही अधिक थंड बनवणे भाग होते.

तथापि, १८५२ साली लॉर्ड केल्विन (तेव्हा तो वित्यम थॉम्सनच होता) व त्याचा एक मित्र, इंग्रज शास्त्रज्ञ जेम्स प्रेस्कॉट जूल (१८१८-१८६९) यांनी असे दाखवून दिले, की द्रवाचे वायूत रूपांतर करणे हा तापमान कमी करण्याचा एकमेव मार्ग नाही.

एखाद्या वायूवर दबाव देऊन तो एका लाहानशा कुपीत बंदिस्त केला व त्याला शक्य तेवढे थंड केले अशी कल्पना करा. दबावाखालीत हा वायू जर प्रसरण पावू दिला तर त्यालादेखील ऊर्जा लागते व ती त्या वायूतूनच घेतली जाते. याने तापमान चटकन कमी होते.

याला 'जूल-थॉम्सन परिणाम' (जूल-थॉम्सन इफेक्ट) म्हणतात.

१८७७ साली लुई पॉल काय्यते (१८३२-१९१३) या फ्रेंच पदार्थविज्ञानशास्त्रज्ञाने प्राणवायू शक्य तितक्या दबावाखाली आणला. मग तो दबावाखालील प्राणवायू शक्य तितक्या कमी तापमानाला आणला व त्यानंतर त्याचे प्रसरण होऊ दिले. त्याचे तापमान कमी झाले व अखेर सूक्ष्म अशा बिंदूचे एक प्रकारचे द्रव प्राणवायूचे थुके त्याला मिळवता आले. याच प्रकारे नायट्रोजन व कार्बन

मोनॉक्साइडचेही येब त्याला द्रवरूपात मिळवता आले.

या तंत्रात आणखी सुधारणा करण्यात आली व १८८३ सालापर्यंत शास्त्रज्ञ मोठ्या प्रमाणावर द्रवरूप वायू मिळवू लागले. १२ वर्षांनंतर कार्ल फॉन लिंडे (१८४२-१९३४) या जर्मन रसायनशास्त्रज्ञाने प्राणवायू व नायट्रोजन यांच्या मिश्रणाने बनलेली हुवा मोठ्या प्रमाणावर व इतक्या स्वस्त किमतीत द्रवरूप बनवण्यास सुरुवात केली, की उद्योगांद्यातदेखील तिचा वापर करणे परवळू लागले.

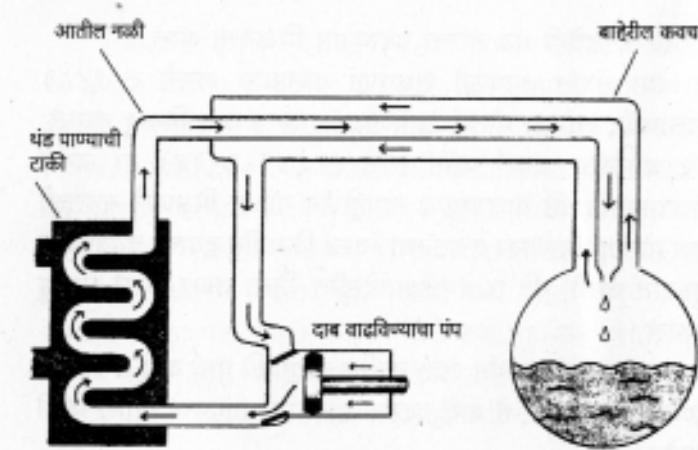
१८९५ सालापर्यंत आठ कठीण वायूपैकी पाच वायूना द्रवरूप देण्यात यश आले. हे वायू द्रवरूप होण्याची तापमाने खाली दिली आहेत.

प्राणवायू	१०.१७ अंश के. -१८२.९८ अंश सेल्सियस
आरगॉन	८७.२८ अंश के. -१८५.८७ अंश सेल्सियस
फ्लॉरिन	८५.०९ अंश के. -१८८.१४ अंश सेल्सियस
कार्बन मोनॉक्साइड	८१.७० अंश के. -१९१.४५ अंश सेल्सियस
नायट्रोजन	७७.३५ अंश के. -१९५.८० अंश सेल्सियस

यात शास्त्रज्ञांना 'केवल शून्यांपासून ७७ अंशापर्यंतचे तापमान मिळवण्यात यश आले होते; पण तरीही निझॉन, हायट्रोजन व हेलियम हे वायू द्रवरूपात मिळवण्यात त्यांना यश आले नव्हते. या तीन वायूवर जूल-थॉम्सन परिणामाचा काहीच प्रभाव पडत नव्हता.

दरम्यान, १८७३ साली योहान डिडेरिक वॉन डेर वॉल्ट्स (१८३७-१९२३) या डच शास्त्रज्ञाने वायूचा अतिशय काळजीपूर्वक अभ्यास केला व त्याने यातील अडचण स्पष्ट केली. त्याला मिळालेत्या निष्कर्षावरून, या तीन वायूंसाठी जूल-थॉम्सन परिणामाचा प्रभाव एका विशिष्ट तापमानाच्या खाली गेल्यावरच दिसेल हे स्पष्ट झाले.

बहुतेक सर्व वायूंसाठी जूल-थॉम्सन परिणाम दिसण्यासाठी आवश्यक असणारे तापमान बरेच उच्च होते. नेहमीच्या तापमानात

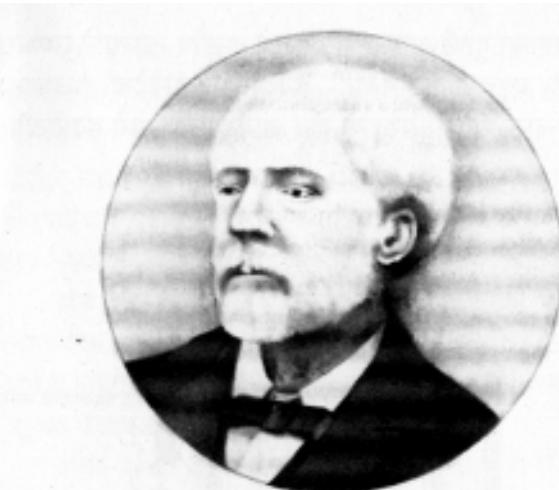


हवेच्या द्रवीकरणाचे यंत्र

कोणताही वायू धंड होण्यासाठी तो उपयोगी होता.

हायड्रोजन वायूवर मात्र जूल-थॉम्सन परिणाम दिसण्यासाठी तापमान १९० अंश के. (-८३ अंश से.) पेक्षाही कमी असावे लागेल. याचा अर्थ, अंटार्किटिकावरील हिवाळ्यातील सर्वात धंड तापमानापेक्षाही कमी तापमानापर्यंत हायड्रोजन प्रथम धंड करावा लागेल व त्यानंतर तो आणखी धंड करून मगच त्याचे प्रसरण होऊ द्यावे लागेल. जेम्स शूअर (१८४२-१९२३) या स्कॉटिश रसायनशास्त्रज्ञाने प्रथमच हे विचारात घेतले.

त्याने ७७ अंश के. (-१९६ अंश से.) या तापमानाला मोठ्या प्रमाणावर द्रवरूप नायट्रोजन मिळवण्यापासून सुरुवात केली. हायड्रोजन वायूसाठी जूल-थॉम्सन प्रभाव दिसण्यासाठी आवश्यक असणाऱ्या तापमानापेक्षा हे तापमान खूपच कमी होते. त्यानंतर हायड्रोजन वायू त्याने एका जाडजूड कुपीत ठासून भरला व ती कुपी द्रवरूप नायट्रोजनमध्ये बुडवली.



जेम्स शूअर

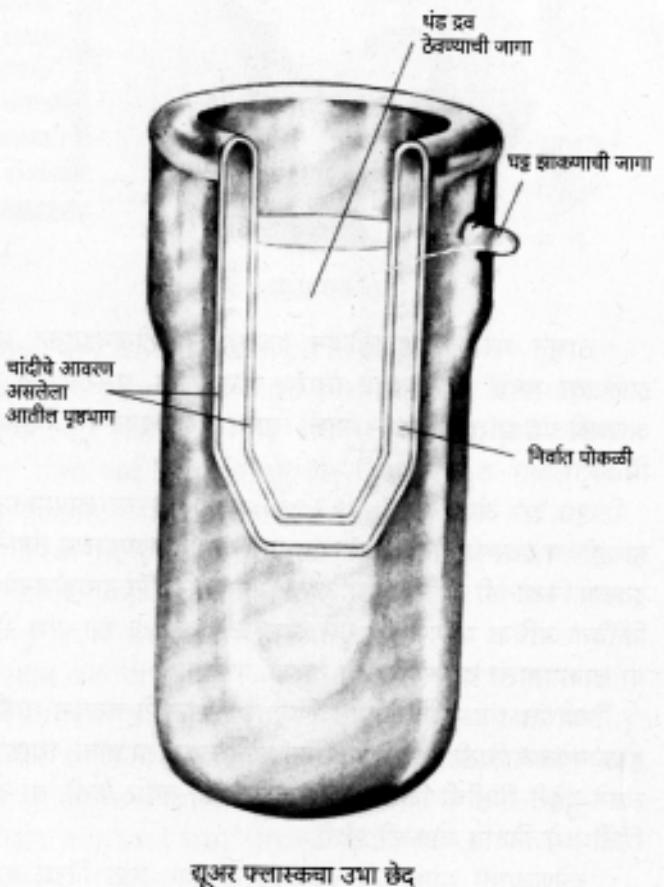
ठासून भरलेला हायड्रोजन द्रवरूप नायट्रोजनइतका धंड झाल्यावर मगच त्याने त्याचे प्रसरण होऊ दिले. प्रसरणामुळे तो आणखी धंड झाला व १८९५ साली त्याला अखेर द्रवरूप हायड्रोजन मिळाला.

२०.३८ अंश के. (-२५२.७७ अंश से.) या तापमानाला हायड्रोजन द्रवरूप होतो. द्रवरूप हायड्रोजन मिळवण्याच्या तंत्रानेच द्रवरूप निअॅनही तयार करता आला, कारण निअॅन हायड्रोजनपेक्षा किंचित अधिक म्हणजे २७.०५ अंश के. (-२४६.१० अंश से.) या तापमानाला द्रवरूप धारण करतो.

अत्यंत धंड द्रवांचे वायूत रुपांतर होऊन ते चटकन नाहीसे होऊ नयेत यासाठी शूअरने एक मार्ग शोधून काढला होता. त्यासाठी त्याने दुहेरी घिंतीची किंवा आवरणाची भांडी तयार केली. या दोन घिंतीमध्ये निर्वात पोकळी होती.

कोणत्याही भांड्याच्या द्रव्यातून उष्णता आत किंवा बाहेर

जाणारच. पण या दुहेरी आवरणांच्या मध्ये काहीच नसत्याने उष्णता त्यातून बाहेर पडूच शकत नव्हती. हवेच्या प्रवाहानेदेखील उष्णता वाहून नेती जाऊ शकते; परंतु या दोन आवरणांच्या मध्ये हवादेखील नव्हती.



अखेर उष्णता किरणोत्सगाने सूक्ष्म लहरी निर्माण करू शकते व त्या निर्वात पोकळीतूनही प्रवास करू शकतात; परंतु या भांड्याच्या घिंटीचा पृष्ठभाग चमकदार गुळगुळीत धातूचा बनवून त्याने तसे होणार नाही याचीही काळजी घेतली. या धातुमुळे बहुतेक सर्व किरणोत्सर्ग परावर्तित होऊन तो बाहेर पडू शकला नाही. याचा अर्थ, जवळजवळ काहीच उष्णता या भांड्यातून बाहेर पडत नसे.

थंड द्रव जर अशा भांड्यात ठेवले तर इतकी कमी उष्णता त्यात येऊ शके, की त्यामुळे ते द्रव बराच वेळपर्यंत थंड राहू शकत असे व काही थोडेच वायुरूप बनून नाहीसे होत असे. अशा भांड्याला 'द्यूअर पलास्क' असे नाव आहे.

लोक आता अशी भांडी घरातही वापरतात व त्यांना आपण 'थरमॉस पलास्क' असे म्हणतो. बूच व त्यावर झाकण लावण्याच्या या बाटल्यांत पाणी अथवा इतर शीतपेये थंड राहतात. तसेच कॉफी किंवा इतर गरम पेये गरमही ठेवता येतात.

द्यूअरने काही द्रवरूप हायझोजन अशा एका भांड्यात ठेवला व त्याचा वायू बनू दिला. यात द्रवरूप हायझोजनमधील आणखी काही उष्णता वापरली गेली, कारण बाहेरून यात उष्णता येऊच शकत नव्हती. वायुरूप होताना द्रवरूप हायझोजन आणखीही थंड झाला. १८९९ साली द्यूअरला हायझोजन गोठवून घन स्वरूप देण्यात यश आले. १३.९५ अंश के. (-१५९.२० अंश से.) या तापमानाला हायझोजन गोठतो.

तरीही 'केवल शून्या'च्या १४ अंशापर्यंत तापमान पोचूनदेखील हेतियम मात्र वायुरूपातच राहात होता. विसाव्या शतकाच्या सुरुवातीला हा एकच वायू द्रवरूपात मिळवता आला नव्हता.

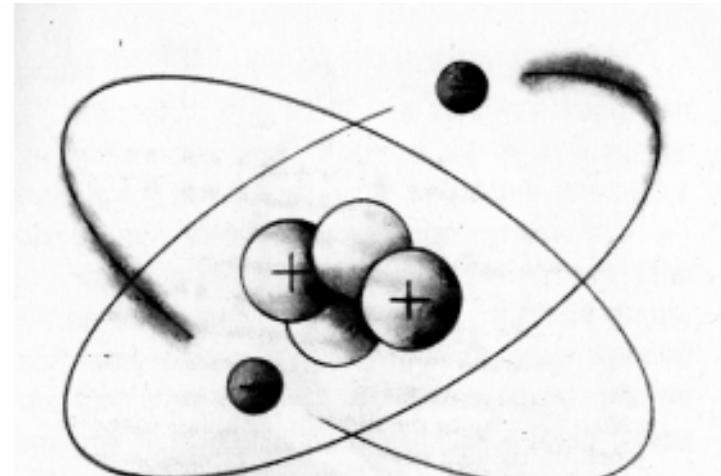
४ | हेलियमशी झाटापट

हेलियमचे अणू हे सर्वात स्थिर स्वरूपातील अणू आहेत. हेलियमचा अणू इतका स्थिर असतो, की त्यात काही जरी बदल केला तरी तो अस्थिर बनतो. याच कारणामुळे त्याचा इतर अणूंशी संयोग होत नाही. हेलियमच्या इतर अणूंशीदेखील त्याचा संयोग होत नाही. म्हणून हेलियम हा वायू एकेकट्या अणूंचाच बनलेला असतो. याउलट हायड्रोजन, प्राणवायू, नायट्रोजन व फ्लॉरिन यांच्या अणूंच्या नेहमीच जोख्या असतात. म्हणूनच आपण हायड्रोजन, प्राणवायू, नायट्रोजन व फ्लॉरिन यांच्या रेण्डिष्यु बोलतो.

हेलियमचे अणू इतके स्थिर असतात, की तापमान अत्यंत थंड असल्याशिवाय ते द्रव बनण्यासाठी पुरेसा वेळ एकत्रही राहत नाहीत. अशा आत्यंतिक थंडीत हेलियमचे अणू क्वचितच हालचाल करतात.

हैके कॅमेरलिंग ओनेस (१८५३-१९२६) या डच शाखज्ञाने हेलियमच्या द्रवीकरणाच्या समस्येवर संशोधन करण्याचे ठरवले. शाखज्ञाना फक्त अत्यंत कमी तापमानात काम करता येईल अशी एक विशेष प्रयोगशाळा त्याने तयार करून घेतली. आतापर्यंतची अशा प्रकारची ही पहिलीच प्रयोगशाळा होती.

कॅमेरलिंग ओनेसने हेलियम दबावाखाली ठासून घेतला (कॉम्प्रेस) व द्रव हायड्रोजनमध्ये त्याला थंड होऊ दिले. एकदा हेलियम द्रव हायड्रोजनइतका थंड झाला, की जूल-थॉम्सन परिणामाचा प्रभाव दिसू लागेल. नंतर त्याने अत्यंत थंड झालेला दबावाखालीत हेलियम प्रसरण होऊ दिला, त्यामुळे तो अधिकच थंड झाला. अखेर १९०८ साली त्याने द्रवरूप हेलियम तयार केला. हा शेवटचा



हेलियमचा अणू

वायूही आता द्रवरूपात मिळाला होता.

फक्त ४.२१ अंश के. (-२६८.९४ अंश से.) या तापमानाला हेलियम द्रवरूप होतो.

या अतिशय थंड द्रवरूप हेलियमची चटकन वाफ होऊन जाऊ नये म्हणून उष्णाता त्यापासून शक्य तेवढी दूरच ठेवायला हवी. म्हणून द्रवरूप हेलियमचे भांडे एका त्याहून मोठ्या अशा द्रवरूप हायड्रोजनच्या भांड्यात ठेवण्यात आले व ते भांडेदेखील त्याहून मोठ्या द्रवरूप हवा असणाऱ्या भांड्यात ठेवण्यात आले.

या प्रकारे कॅमेरलिंग ओनेसने प्रयोग करून पाहण्यासाठी पुरेसा वेळ द्रवरूप हेलियम सांभाळून ठेवला. त्याला आणखी एक गोष्ट करून पाहायची होती ती म्हणजे, हेलियम गोठवून घन हेलियम मिळवायचा होता. थोड्याशा हेलियमची चटकन वाफ होण्यासाठी ते त्याने आणखी थंड होऊ दिले. अशा प्रकारे ते तापमान त्याने ०.८३ अंश के. (-२७२.३२ अंश से.) इतके खाली आणले, पण तरीही हेलियम द्रवरूपच होता. २१ फेब्रुवारी १९२६



हेके कॅमेरलिंग ओनेस

ला जेव्हा कॅमेरलिंग ओनेस मरण पावला तोपर्यंत त्याला घन हेलियम काही मिळवता आला नव्हता.

केवळ तापमान कमी करून हेलियम गोठवता येत नाही हे आता आपल्याला माहीत आहे. 'केवल शून्या'लाही त्यात काही थोडीशी उष्णता शिल्लक राहतेच. ही ऊर्जा काढून टाकता येत नाही, म्हणून 'केवल शून्य' हे आपल्याला मिळू शकणारे न्यूनतम तापमान आहे. न काढता येण्याजोगी जी काही किंचितशी उष्णता शिल्लक राहते, ती हेलियमच्या अणूंची रचना घन बनण्यापासून रोखण्यास पुरेशी ठरते.

कॅमेरलिंग ओनेसच्या मृत्यूनंतर काही महिन्यांनी हेंड्रिक केसम (१८७६-१९५६) या त्याचाच विद्यार्थी असणाऱ्या डच शास्त्रज्ञाने, फेरडेने शतकापूर्वी क्लोरिन वायूच्या साहाय्याने जे केले होते तेच, म्हणजे उच्च दबाव व कमी तापमान अशा दोन्हीचा एकत्रितपणे

उपयोग करून पाहायचे ठरवले.

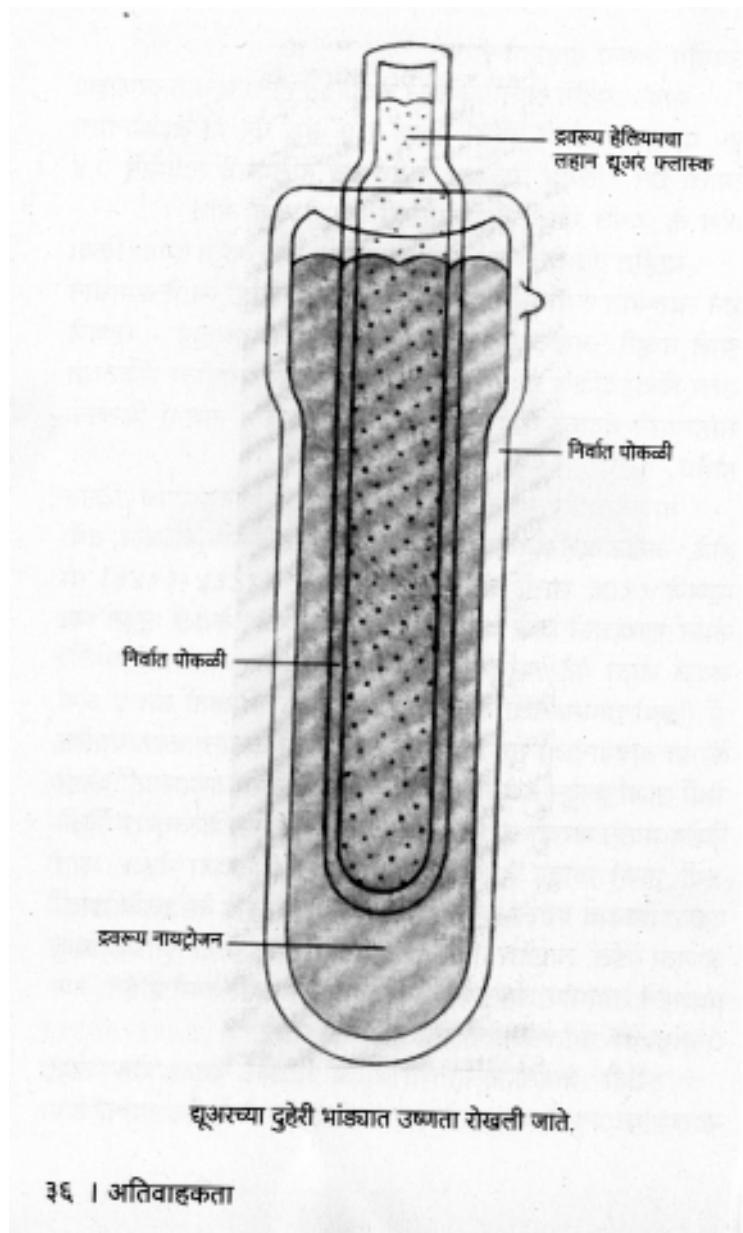
याचा उपयोग झाला. केसमने जेव्हा द्रव हेलियम वातावरणाच्या २५ या दबावाखाली ठेवला, तेव्हा १.० अंश के, या तापमानाला त्याला घन हेलियम मिळाला. तसेच द्रव हेलियमचे तापमान ०.४ अंश के, पर्यंत खाली आणण्यातही त्याला यश आले.

माहीत असलेली सर्व द्रव्ये शास्त्रज्ञांना जरी आता द्रवात किंवा घन स्वरूपात रूपांतरित करता येत असली, तरीही त्यांचे समाधान झाले नव्हते. अखेरच्या मध्यदिपर्यंत पोचण्याचे आव्हान - म्हणजे उत्तर किंवा दक्षिण ध्रुव, अथवा एक्हरेस्ट शिखर, नाहीतर रोकिटच्या साहाय्याने चंद्रावर जाणे यासारखेच काहीतरी - अद्याप शिल्लक होतेच.

या बाबतीत मात्र ती मर्यादा गाठणे अशक्यप्रायच दिसत होते. अखेर घन स्वरूपातील हेलियम मिळवण्यापूर्वी दोन वर्षे, म्हणजे १९०६ साली वॉल्थर हेर्मन नर्नस्ट (१८६४-१९४१) या जर्मन शास्त्रज्ञाने असे दाखवून दिले होते, की 'केवल शून्या'च्या जवळ जाता येते; परंतु नेमके तेथे पोचता मात्र येत नाही.

ज्या तापमानाला हेलियम द्रव स्वरूपात मिळतो त्या ४ अंश के. या तापमानाला सुरुवात केली आहे अशी कल्पना करा. यातील अर्धी ऊर्जा काढून टाकून २ अंश के. तापमान मिळण्यासाठी काही विशेष प्रयत्न करावा लागेल. तेवढाच प्रयत्न करून शिल्लक ऊर्जेपैकी अर्धी ऊर्जा काढून १ अंश के. तापमान मिळवता येईल. परत एकदा तेवढाच प्रयत्न करून हे तापमान ०.५ अंश के. इतके खाली आणता येईल, त्यानंतर ते ०.२५ अंश के. करता येईल. अधिकाधिक प्रयत्नाने तापमान लहानशा पायरी पायरीने कमी कमी होईल, पण ० अंश के, पर्यंत कधीच पोचता येणार नाही.

तरीही 'केवल शून्या'च्या शक्य तितके जवळ पोचण्याचा शास्त्रज्ञांचा प्रयत्न चालूच होता व वाफ बनण्याने देखील त्यांना ०.४



३६ | अतिवाहकता

अंश के. च्या खालचे तापमान मिळत नव्हते.

१९२६ साली पीटर जोसेफ विल्हेम डीबी (१८८४-१९६६) या डच शास्त्रज्ञाला एक कल्पना सुचली. काही रेणू चुंबकीय आकर्षणासंबंधी संवेदनशील असतात. चुंबकामुळे सर्व रेणू एकाच दिशेत ओळीत ठेवता येतील. चुंबकाच्या प्रभावाखालील हे द्रव्य द्रव हेलियमच्या साहाय्याने ०.४ अंश के. पर्यंत, म्हणजे वाफ बनू देण्याने शक्य असलेल्या न्यूनतम तापमानापर्यंत थंड केले अशी कल्पना करा व त्यानंतर चुंबक काढून घ्या.

चुंबकाच्या प्रभावाखालील सर्व रेणू आता निरनिराक्ष्या दिशा दर्शवतील. पण अशा तन्हेने रांग मोडण्यासाठी त्यांना ऊर्जा लागते. ती मिळवण्याची एकाच शक्यता आहे आणि ती म्हणजे त्यांच्या भोवतीचे द्रव हेलियम. याचाच अर्थ, द्रव हेलियमचे तापमान आणखी कमी होईल.

१९३३ साली विल्यम फ्रॅन्सिस जिओके (१८९५-१९८२) या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने या पद्धतीने प्रयत्न केला व तो यशस्वी ठरला. द्रव हेलियमचे तापमान त्याने ०.२५ अंश के. पर्यंत खाली आणले, म्हणजे 'केवल शून्या'च्या वर फक्त पाव अंश.

हे ऐकल्यावर डच शास्त्रज्ञांनीदेखील चुंबकीय प्रभावाखालील रेणूंचा वापर केला व वर्षअखेरीपर्यंत त्यांना तापमान ०.०१८५ अंश के. पर्यंत म्हणजे 'केवल शून्या'च्यावर फक्त $1/48$ अंश इतके खाली आणता आले.

अत्यंत थंड हेलियममधून उरली-सुरली उष्णता काढून घेण्यासाठी इतर उपाय वापरूनही प्रयत्न करण्यात आले. आता ०.००००२ अंश के. म्हणजे 'केवल शून्या'च्या वर फक्त $1/40,000$ अंश इतके तापमान मिळवण्यात आले आहे; परंतु 'केवल शून्या'पर्यंत मात्र कोणताही पोचता आले नाही आणि बहुधा ते येणारही नाही.

अतिवाहकता | ३७



२० व्या शतकाच्या सुरुवातीच्या काळातील कर्मी तापमानाची प्रयोगशाळा.

इतक्या कर्मी तापमानाला पोचणे वैशिष्ट्यपूर्णच होते, कारण यातून शाखजांना पूर्वी माहीत नसणाऱ्या अनेक गोटी जाणून घेता आल्या. उदाहरणार्थ, १९२८ साली केसमला असा शोध लागला, की २.२ अंश के, या तापमानाला द्रवांचे सर्व गुणधर्म असणाऱ्या नेहमीच्या 'हेलियम१' या द्रवाएवजी हेलियम एका नव्या प्रकारच्या 'हेलियम२' मध्ये रूपांतरित होतो व त्याचे गुणधर्म इतर कोणत्याही द्रवापेक्षा निराळेच असतात.

उदाहरणार्थ, 'हेलियम२' हा एक 'अतिद्रव' (सुपर फ्लुइड) पदार्थ होता व सूक्ष्मातील सूक्ष्म छिद्रातून तो काहीही अडथळा न येता आरपार जात असे. हवाबंद डबे 'हेलियम२' साठी पुरेसे बंद नव्हते.

'हेलियम२' मधून उष्णता पूर्णत्वाने वाहून नेली जाते. त्याला किंवित उष्णता जरी दिली तरी ती सर्व द्रवात ताबडतोब पसरली. उष्णतेची केंद्रे अजिबात निर्माण झाली नाहीत, म्हणून 'हेलियम२' मध्ये बुडबुडे येऊन ते उकळले नाही, तर अणूंचा सर्वात वरचा थर सोलला गेला.

हेलियम हा 'हेलियम४' व 'हेलियम३' या दोन प्रकारच्या अणूंचा बनलेला असतो. 'हेलियम४' हा सर्वसामान्यपणे आढळणारा अणू आहे. हेलियमच्या दहा लक्ष अणूपैकी एक अणू 'हेलियम३' या प्रकारचा असतो.

'हेलियम४' हाच ४.२१ अंश के, तापमानाला द्रवरूप होतो व २.२ अंश के, तापमानाला त्याचे 'हेलियम२' मध्ये रूपांतर होते.

१९४० च्या दशकात शाखजांना कवचित दिसणारा 'हेलियम३' चा अणू वेगला करण्यात यश आले व सर्व अणू 'हेलियम३' चे असणारा वायू त्यांना बनवता आला.

'हेलियम३' च्या अणूचे वजन 'हेलियम४' च्या अणूच्या तुलनेत तीन-चतुर्थांश इतकेच असते. 'हेलियम४' च्या अणूपेक्षाही

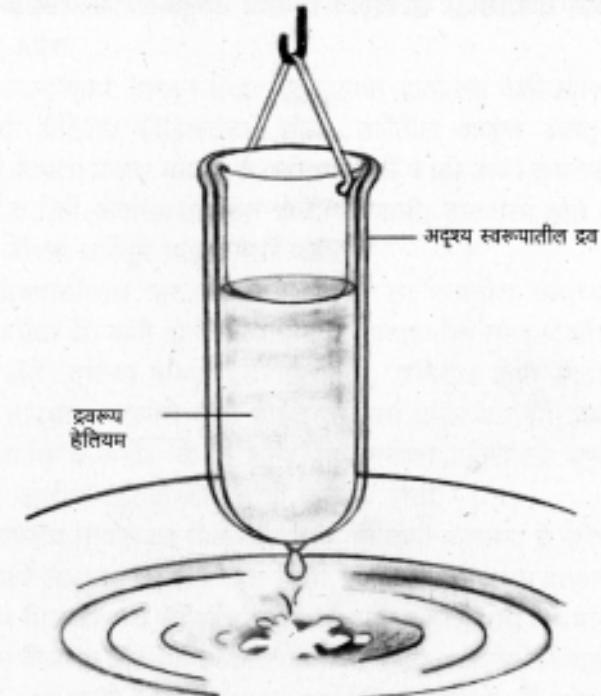


द्रवरूप हेलियमची हलविण्याजोगी टाकी.

'हेलियम३' च्या अणूना एकमेकांपासून दूर उडून जाणे अधिक सोपे होते. त्याचा अर्थ, 'हेलियम३' ला द्रवरूप होण्यासाठी अधिकच थंड तापमानाची आवश्यकता भासणार.

१९४९ साली शाखळांना असे आढळले, की 'हेलियम३' ३.२ अंश के. तापमानाला द्रवरूप होतो, म्हणजे 'हेलियम४' पेक्षा एक संपूर्ण अंश कमी तापमानाला.

'हेलियम३' चे 'हेलियम२' मध्ये रूपांतर होण्याची काहीच चिन्हे दिसली नाहीत. त्याचे तापमान अधिकाधिक कमी करून



हेलियम २ - अतिद्रव भांडघातून बाहेर पडतो.

५ | अतिवाहकता

अशी शक्यता पडताळून पाहण्यात आली. १९७२ साली 'हेलियम३' चे ०.००२५ अंश के, म्हणजे १/४०० अंश 'केवल शून्य'च्या वर, या तापमानाला 'हेलियम२' चे द्रवात रूपांतर झाले.

अशा प्रकारचे विचित्र द्रव बनणारी 'हेलियम४' व 'हेलियम३' ही केवळ दोनच वैशिष्ट्यपूर्ण द्रव्ये आहेत. इतर कोणतीच द्रव्ये इतक्या कमी तापमानाला द्रवरूपात राहत नाहीत.

पीटर लिओनिडोविच केपित्सा (१८९४-) सारख्या रशियन शाखजांनी अणूंच्या गुणधर्म व रचनेविषयी अधिक माहिती प्राप्त करून घेण्यासाठी या विचित्र द्रव्याचा उत्सुकतेने अभ्यास केला.

द्रव हेलियमचा अभ्यास करताना असा एक शोध लागला, की त्याचा दररोजच्या जीवनावर फार मोठा महत्त्वाचा प्रभाव पडेल असे वाटले. त्यासंबंधी माहिती आता घेऊ या.

एकदा द्रवरूप हेलियम तयार केल्यावर प्रथमच शाखजांना निरनिराळ्या द्रव्यांचा अत्यंत शीत तापमानाच्या अवस्थेत अभ्यास करता आला.

उदाहरणार्थ, तारेतून जेव्हा विद्युतप्रवाह जातो त्या वेळी त्याला काहीसा प्रतिरोध (रेझिस्टन्स) होतो. तारेतील अणूंना ढकलून त्याला आपला प्रवास करावा लागतो, यासाठी काही ऊर्जा वापरावी लागते व तिचे रूपांतर उत्थातेत होते. परिणामी, तार गरम होते व काही वीजच तारेतून वाहून नेली जाते.

सुरुवातीलाच जर तार धंड केली, तर त्यातील अणूंच्या हालचालीचा वेग कमी होतो व त्यांची विद्युतप्रवाहातील लुड्युडेखील कमी होते. दुसऱ्या शब्दात सांगायचे तर, प्रतिरोध कमी होतो. तारेचे तापमान जसजसे कमी होईल तसेतसा प्रतिरोध कमी कमी होत जाईल व अखेर 'केवल शून्य' तापमानाला प्रतिरोधही शून्य होईल, अशीच बहुतेक शाखजांची कल्पना होती.

द्रवरूप हायड्रोजन मिळेपर्यंत तापमान कमी करताना हे खरेच असल्याचे आढळून आले. १९११ साली, तीन वर्षांपूर्वी प्रथम द्रवरूप हेलियम मिळवणाऱ्या कॅमेरलिंग ओनेसने द्रवरूप हेलियमचे तापमान वापरून विजेत्या प्रतिरोधासंबंधीचा पडताळा घेण्याचा प्रयत्न करण्याचे ठरवले. यात काही आश्चर्यकारक निष्कर्ष निघण्याची त्याची अपेक्षा नव्हती; पण त्याला आश्चर्याचा एक मोठाच धक्का बसला.

कॅमेरलिंग ओनेस गोठलेल्या पान्याचा अभ्यास करत होता. यातून विद्युतप्रवाह जाताना त्याला अगदी थोडाच प्रतिरोध होतो व द्रवरूप हायझोजनच्या तापमानाला तर तो आणखीच कमी होतो. ४.२१ अंश के. या हेलियम द्रवरूप होण्याच्या तापमानाला पान्याचा प्रतिरोध शास्त्रज्ञांना अपेक्षा होती तसाच होता.

परंतु कॅमेरलिंग ओनेसने हे तापमान आणखी कमी केल्यावर, ४.१२ अंश के. या तापमानाला प्रतिरोध अचानक शून्य झाला. त्याखालील तापमानाला पान्यातून विद्युतप्रवाह पूर्णपणे (परफेक्टली) जाऊ लागला. थोड्याही विजेचे उष्णतेत रूपांतर झाले नाही कारण प्रतिरोधच नव्हता. या परिस्थितीत विजेचे वहन पूर्णत्वाने होत असत्याने या गुणधर्माला 'सुपरकंडविंटिलिटी' (अतिवाहकता) असे नाव देण्यात आले.

'केवल शून्य'वरील कोणत्याही तापमानाला शून्य प्रतिरोध असेल अशी शास्त्रज्ञांना अपेक्षाच नव्हती. जॉन बार्डन (१९०८-) या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने अखेर १९७३ साली याचे पटण्याजोगे स्पष्टीकरण दिले. अर्थात, स्पष्टीकरण मिळो अधवा न मिळो, तसेच हे गूढ उलगडले गेले अधवा नाही, तरीही इतर धातूंचे गुणधर्मदिर्खील असेच बदलत होते की फक्त पान्यालाच हे लागू होते, हे जाणून घेण्याची शास्त्रज्ञांना उत्कंठा होती.

इतर धातूंही अशीच अतिवाहकता होती, असा त्यांना लवकर्त्त्व शोध लागला. केवळ काही अपवादात्मक धातूंतर हा गुणधर्म नव्हता; परंतु त्या धातूंचे पुरेशा कमी तापमानात परीक्षण करण्यात आले नव्हते, हे त्यामागील कारण असण्याची शक्यता होती.

उदाहरणार्थ, हॅफनियम हा धातू ०.३५ अंश के. या किंवा त्याहूनही कमी तापमानाला अतिवाहक बनतो. केवळ काहीच धातू पान्याहून अधिक तापमानाला सुपरकंडविंटिल बनतात. उदाहरणार्थ, जस्त ७.२२ अंश के. तापमानाला अतिवाहक बनते. द्रवरूप

हेलियममध्ये ठेवलेल्या जस्ताच्या वेटोव्यात सोडलेला विद्युतप्रवाह अडीच वर्षापर्यंत त्यात प्रवाही राहिला व त्या काळात त्यातील विद्युत जराही कमी झाले नाही.

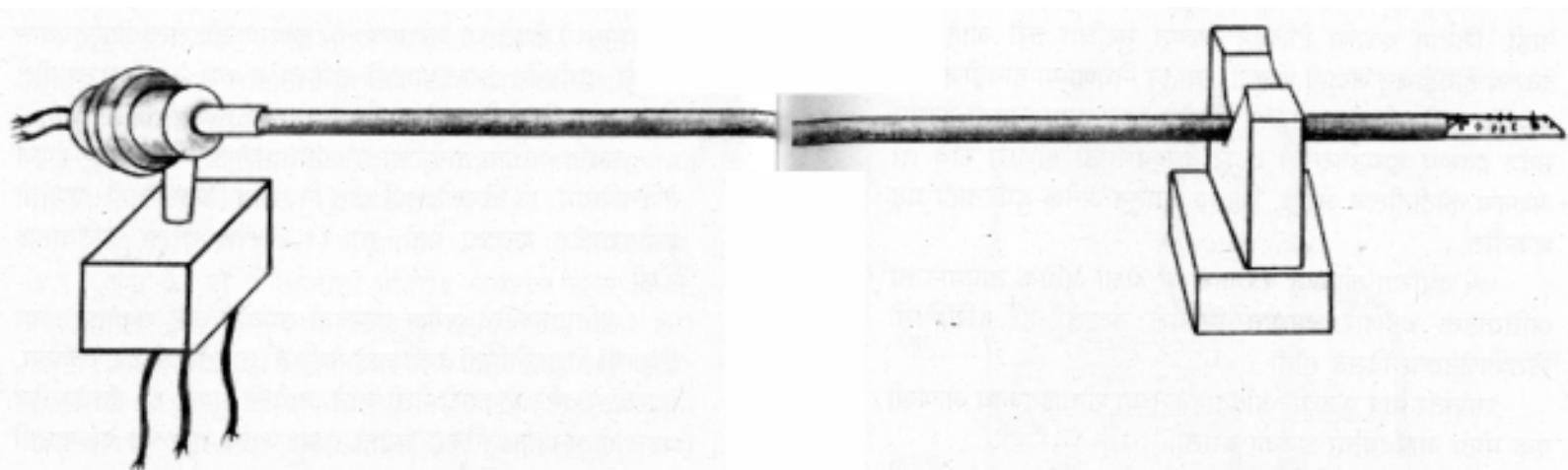
सर्वात अधिक तापमानाला अतिवाहक बनणारा धातू म्हणजे टेक्निशियम. हा किरणोत्सर्गी धातू निसर्गात मिळत नाही; पण तो प्रयोगशाळेत बनवता येतो. तो ११.२ अंश के.ला अतिवाहक होतो.

अतिवाहकतेचे अनेक महत्त्वाचे उपयोग असू शकतात. ज्या ठिकाणी विद्युतनिर्भीती केली जाते तेथून ती वापरासाठी घरे, ऑफिस, कारखाने वरीरे ठिकाणी नेती जाते. यापैकी सुमारे १५ टक्के वीज वहन होताना उष्णतेच्या रूपात वाया जाते. म्हणजेच अब्जावधी रूपयांचे नुकसान होते.

अतिवाहक तारांतून विजेचे वहन करता येईल अशी कल्पना करा. यात काहीच वीज वाया जाणार नाही, म्हणजेच अब्जावधी रूपयांची बचत होईल. परंतु सर्वाधिक तापमानाला अतिवाहक बनणारा धातू ११.२ अंश के. किंवा त्याहून कमी तापमानाला अतिवाहक बनतो, म्हणजे सर्व तारा द्रवरूप हेलियमच्या आवरणात ठेवाव्या लागतील. इतर काहीच इतके थंड नसते. त्याखालोखालचे थंड द्रव म्हणजे द्रवरूप हायझोजन, तो १४ अंश के. तापमानाला गोठतो आणि कायम त्याचे बाष्पीभवन होऊ दिले तर तो २० अंश के. ला गोठेल.

तथापि, हेलियम दुर्मिळ आहे व त्याला द्रवरूपात ठेवणे अतिशय कठीण आहे. सर्व तारा अतिवाहक ठेवण्यासाठी जो प्रचंड खर्च होईल तो काही त्याहून होणाऱ्या बचतीतून भरून निघणार नाही.

म्हणजे अधिक तापमानाला अतिवाहक असणाऱ्या कशाची तरी आपल्याला आवश्यकता आहे. शुद्ध स्वरूपातील कोणत्याच



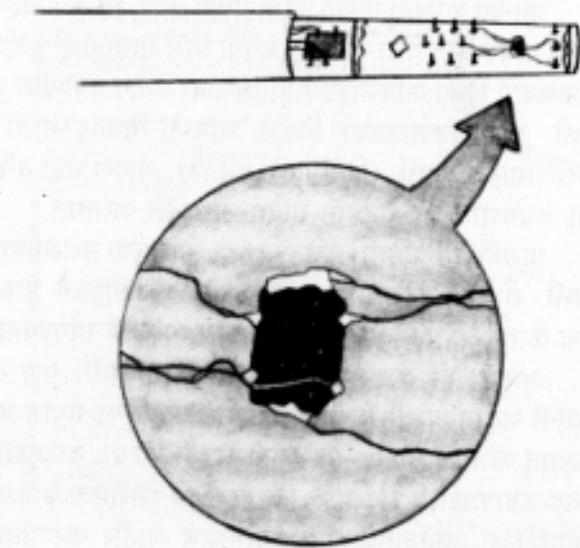
अतिवाहकलेचा परीक्षणासाठी बनविलेली यंत्रणा.

धातूचा तसा उपयोग नसल्याने कदाचित निरनिराक्ष्या धातुंचा बनलेला एखादा मिश्रधातू यासाठी उपयोगी ठरू शकेल.

शाखजांनी मग शक्य त्या सर्व मिश्रधातूंच्या चाचण्या करण्यास सुरुवात केली. त्यापैकी सुमारे १,४०० मिश्रधातू कमी तापमानाला अतिवाहक बनत होते; परंतु प्रत्येक वेळी हे तापमान प्रत्यक्षात वापरासाठी फारच कमी म्हणजे गैरसोयीचेच होते.

अखेर १९६८ साली द्रवरूप हायड्रोजनच्या तापमानाला अतिवाहक बनणाऱ्या एका मिश्रधातूचा शोध लागला. नियोबियम, ॲल्युमिनम व जर्मेनियमपासून बनलेला मिश्रधातू २१ अंश के. या तापमानाला अतिवाहक बनत असल्याचे आढळून आले. १९८४ साली निओबियम व जर्मेनियमच्या मिश्रधातूने २४ अंश के.ची पातळी गाठली.

द्रवरूप हायड्रोजन द्रवरूप हेलियमइतका दुर्मिळ नाही व तो द्रवरूप ठेवणे हेलियमइतके कठीणही नाही; पण तरी ते सोपेही



नाही. शिवाय द्रवरूप हेलियम अत्यंत सुरक्षित तरी आहे, तर द्रवरूप हायड्रोजन जळूही शकतो. त्यातून निघणाऱ्या हायड्रोजनच्या वाफांचा स्फोटही होऊ शकतो. विजेचे वहन करण्यासाठी देशभर सर्वत्र द्रवरूप हायड्रोजनचा वापर करण्यासाठी होणारा खर्च तर अशक्य कोटीतीलच असेल, शिवाय त्यातून अनेक दुर्घटनाही घडू शकतील.

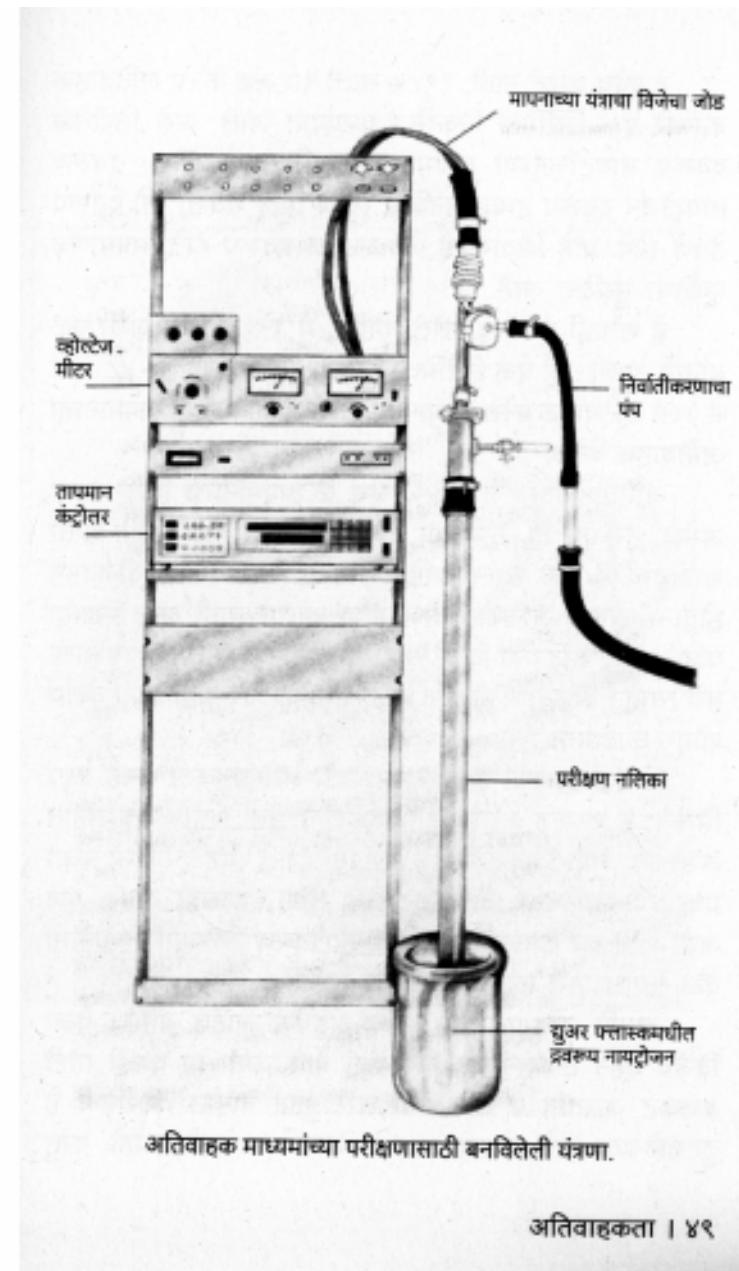
७५ वर्षांच्या काळात २४ अंश के. पेक्षा अधिक तापमानाला अतिवाहक बनणारे काहीच मिळाले नव्हते. ही परिस्थिती निराशाजनकच दिसत होती.

त्यानंतर मात्र मूळच्या अतिवाहकतेच्या शोधाइतकाच आणखी एक मोठा आशयर्चाच धक्का बसला.

जर्मनीत शास्त्रज्ञांनी एक नवाच प्रयोग केला. विजेच्या वहनासाठी नेहमी वापरण्यात येणाऱ्या शुद्ध अथवा मिश्र धातूंऐवजी त्यांनी धातू, व प्राणवायू किंवा ऑक्साइडच्या मिश्रणांवर प्रयोग करण्यास सुरुवात केली. ही ऑक्साइडची मिश्रणे म्हणजे चिकण माती किंवा चिखलासारखे पदार्थ (सिरेंमिक) असतात. आपण चहा वरीरे पितो त्या कपबद्धा व पेले सहसा याचेच बनवलेले असतात.

यासंबंधीची पहिली माहिती १९८६ सालाच्या उत्तरार्धात जाहीर झाली. लॅंथनम, बेरियम व तांबे यांच्या ऑक्साइडचे मिश्रण २८ अंश के.ला अतिवाहक बनले होते, असे या वेळी सांगण्यात आले.

अर्थात, ही काही फार मोठी प्रगती नव्हती; पण लगोलग सर्वांनी सर्व प्रकारची सिरेंमिकची मिश्रणे वापरून प्रयोग करायला सुरुवात केली व काही सुधारणाही घडून आल्या. वर्षअखेरीपर्यंत, प्रचंड दबावाखाली ठेवल्यास एक प्रकारचे सिरेंमिक ४० अंश के. तापमानाला अतिवाहक बनत असल्याचे जाहीर करण्यात आले. मग आणखी एका प्रयोगशाळेने लगेच जाहीर केले, की एक सिरेंमिक दबावाखाली न ठेवता ३६ अंश के.ला अतिवाहक बनते.



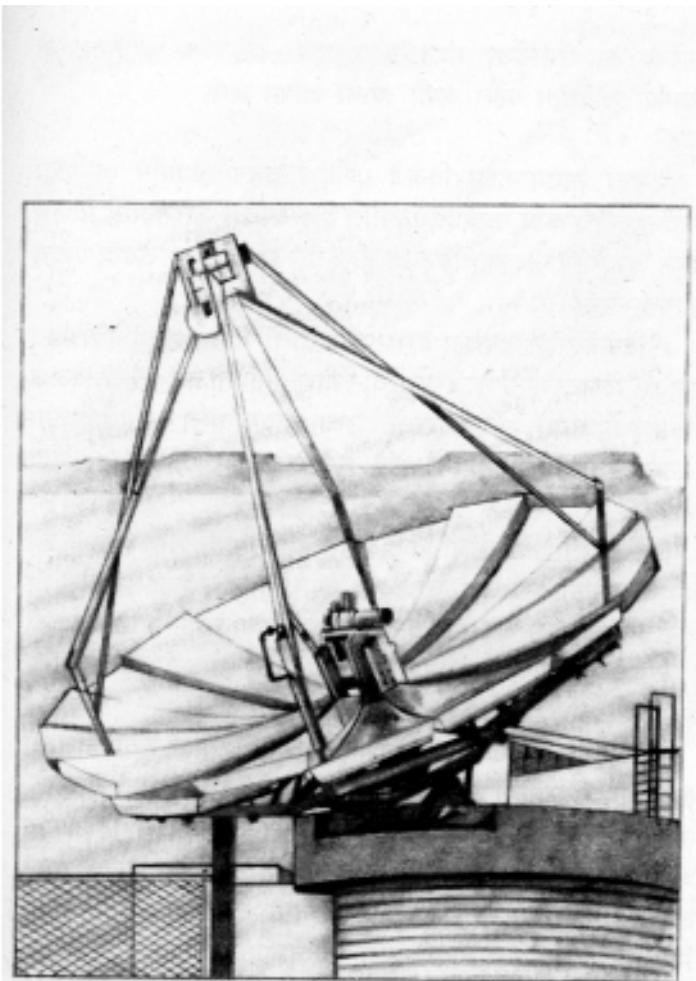
हे इथेच थांबले नाही. १९८७ साली ९० अंश के.ला अतिवाहक बनणारे एक सिरोमिक विकसित करण्यात आले. असे सिरोमिक द्रवरूप नायट्रोजनच्या तापमानाला अतिवाहक बनेल. द्रवरूप नायट्रोजन द्रवरूप हायट्रोजनपेक्षा सहज मिळू शकतो. तो द्रवरूप ठेवणे सोपे आहे शिवाय तो जवळजवळ द्रवरूप हेलियमप्रमाणेच पूर्णतया सुरक्षित आहे.

हे शोधही येथेच थांबलेले नाहीत. मे १९८७ मध्ये अशी एक बातमी आली, की एक सिरोमिक बहुधा २२५ अंश के. (-४८ अंश से.) ला अतिवाहक बनेल. याचा अर्थ, ते कोरड्या बर्फाच्या तापमानाला अतिवाहक बनेल.

अतिवाहकता जर २२५ अंश के.तापमानाला मिळू शकत असेल, तर मग ती नेहमीच्या तापमानाला का मिळू नये? आता शास्त्रज्ञांचे हे एक स्वप्न आहे : थंड न करतादेखील वीजवहन होताना त्यातून अजिबात वीज वाया जाणार नाही असा एखादा पदार्थ शोधून काढायचा किंवा नेहमीच्या वातानुकूलनाच्या तापमानाला तरी त्यातून वीजवहन होताना वीज वाया जाणार नाही असा पदार्थ शोधून काढायचा.

अर्थात, इतक्या उच्च तापमानाला अतिवाहकता कशी काय मिळेल, हे शास्त्रज्ञ अद्याप सांगू शकत नाहीत. आतापर्यंत माहीत असलेल्या अतिवाहकतेसंबंधी बार्डीनने दिलेले स्पष्टीकरण या नव्या प्रकारच्या अतिवाहकतेला कदाचित लागू होणारही नाही; पण असा शोध जर लागला, तर त्याचे स्पष्टीकरण मिळण्यास कितीही वेळ लागला तरी फारसे बिघडणार नाही.

तथापि, यात प्रत्यक्षात अनेक अडचणी आहेत. बहुतेक वेळा विजेचे वहन तारातून व फिल्ममधून केले जाते. या दोन्ही गोष्टी बळकट असतात व वाकवल्या तरी तुट नाहीत. सिरोमिक हे तुटणारे द्रव्य आहे. त्याच्या तारा व फिल्म बनवणे सोपे नाही; परंतु



सौर ऊर्जेची यंत्रणा

शास्त्रज्ञ या समस्येवर संशोधन करतच आहेत व लवकरच ही समस्या सोडवता येईल अशी त्यांना आशा आहे.

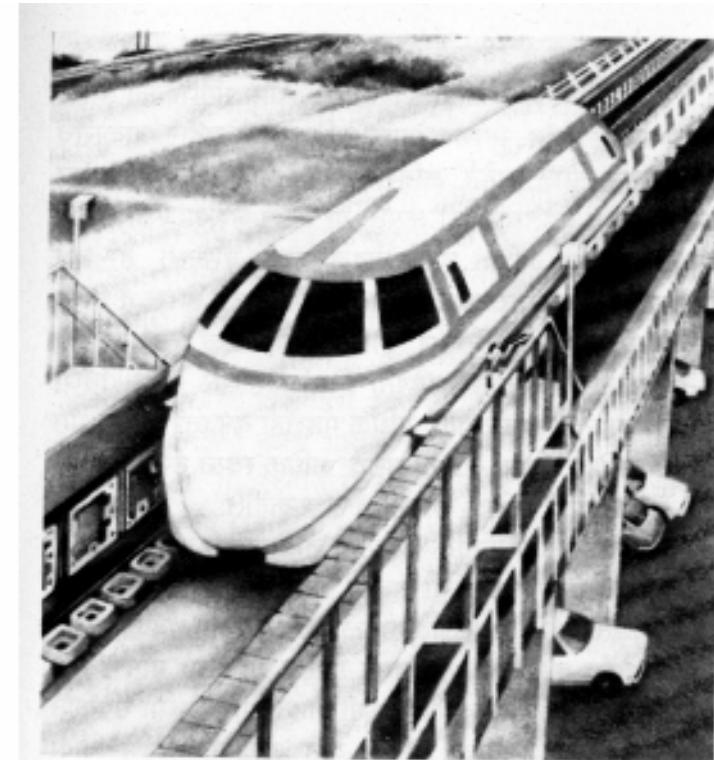
उच्च तापमानाला विजेचे परीपूर्ण वहन होण्याने आपल्या सर्वांना त्याचे काय फायदे मिळतील? दूरवरच्या अंतरापर्यंत विजेचे वहन करण्यात अडजावधी रुपयांची बचत होईल; पण तेवढा एकच फायदा नाही.

विजेचे वहन होताना बरीच वीज वाया जात असल्याने मोठ्या शहरात विजेची मोठी गरज असल्याने विद्युतनिर्मिती केंद्रे शहरांजवळच ठेवण्याचा प्रयत्न केला जातो. उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळाल्यास, विद्युतनिर्मिती केंद्रे दूर असली तरीही वीज वाया जाणार नाही.

विशेषत: अणुऊर्जा केंद्रांबाबत हे अधिक महत्त्वाचे आहे. बन्याच लोकांना अणुऊर्जा केंद्रांत अपघात होण्याच्या भीतीने ती शहराजवळ नसावीत असे वाटते. उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळाल्यास अशी ऊर्जानिर्मिती केंद्रे दूरवर वाळवंटात उभारता येतील व तरीही वहनात वीज वाया जाणार नाही.

काही विशेष प्रकारची यंत्रणा विकसित केल्यावर सूर्यप्रकाशाचा वापर करून त्यातून ऊर्जा निर्माण करता येईल अशी अपेक्षा आहे. अशी यंत्रणाही वाळवंटातच उभारावी लागेल, कारण अशा ठिकाणीच भरपूर सूर्यप्रकाश मिळतो. पण अशा ठिकाणांहून विजेचे वहन करण्यासाठी खूप खर्च येईल व शिवाय वीज वाया जाईल ती निराळीच; परंतु उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळाल्यास विजेची हानी होणार नाही.

आजकाल भविष्यातील वापरासाठी वीज साठवून ठेवता येत नाही. तारातून जाणारी वीज प्रतिरोधामुळे लवकरच नाहीशी होते. यामुळे विजेच्या गरजेग्रामाणे निर्मिती केंद्रांना ती कमी-अधिक



अतिवाहक चुंबकांच्या वापराने उचलली जाणारी रेल्वे

प्रमाणात निर्माण करावी लागते. वापरासंबंधीचे असे अंदाज बांधणे खूपच कठीण असते. काही वेळा अनपेक्षितरीत्या मागणी वाढत्यास निर्मिती केंद्रावर प्रचंड ताण येतो.

उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळाल्यास विद्युतप्रवाह मंडलांतून फिरता ठेवता येईल व त्यात विजेची हानी होणार नाही. कमी वापराच्या वेळी तयार झालेली वीज मंडलांत साठवून ठेवता येईल व जादा मागणीच्या वेळी ती त्या त्या मंडलांकडे पाठवता

येर्ईल. कार्यक्षमता वाढवण्याचा हा आणखी एक मार्ग आहे.

उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळाल्यास संगणकांना त्याचा खूपच फायदा होईल. संगणक आता अधिकाधिक लहान आकाराचे बनवले जाऊ लगले आहेत. अतिशय लहान आकाराच्या 'चिप्स'वर अनेक तारा व मंडलांची गर्दी असते. या चिप्स जर आणखी लहान केल्या व त्यावर अधिक मंडले जवळ जवळ बसवली, तर त्या लहानशा जागेत बन्याचशा विजेचे रूपांतर उष्णतेत होईल व चिप्स वितळण्याचा धोका निर्माण होईल; पण उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळाल्यास उष्णता निर्माण होणार नाही. चिप्स आणखी लहान बनवून त्यावर अधिक मंडलेही बसवता येतील. मग संगणक अधिक लहान, अधिक जलद, अधिक स्वस्त तर होतीलच; पण ते आतापेक्षा अधिक कामही करू शकतील.

बन्याच काळापासून विजेचा मोठा शक्तिशाली प्रवाह नेणाऱ्या रुळांवरून आगगाड्या किंवा तत्सम इतर वाहने नेण्याचा लोक विचार करत आहेत. या प्रवाहामुळे शक्तिशाली चुंबकीय क्षेत्र निर्माण होईल व त्यामुळे ही वाहने इंचाचा लहानसा भाग इतकी रुळांपासून वर उचलली जातील. अशी वाहने मग रुळांच्या संपर्कात न येताच प्रवास करतील. म्हणजे यात अजिबात घर्षण किंवा विरोध असणार नाही.

अशा वाहनांचा वेग ताशी ३०० मैलांपर्यंत वाढू शकेल आणि हे इतक्या सहजपणे होईल, की आपण प्रवास करत आहोत असे लोकांना भासणारदेखील नाही. या मोठ्या शक्तिशाली विजेच्या प्रवाहाचा प्रत्यक्षात वापर होण्यासाठी उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळावी लागेल. प्रतिरोधामुळे वीज वाया गेल्यास अशी चुंबकीय वाहने अतिशयच महाग ठरतील.

नव्या पद्धतीने अणुऊर्जा मिळवण्याचा शास्त्रज्ञांचा प्रयत्न चालू आहे. सध्या वापरात असलेल्या अणुविभाजनाच्या पद्धतीऐवजी

अणूंच्या एकत्रीकरणाची पद्धत वापरली जाणे शक्य आहे. अणूंच्या एकत्रीकरणातून खूप मोठ्या प्रमाणावर ऊर्जानिर्मिती करता येर्ईल व ती अधिक सुरक्षितही असेल.

परंतु लहान अणूंना एका जागी जखडून ठेवून त्यांचे एकत्रीकरण करण्यासाठी खूप शक्तिशाली चुंबकीय क्षेत्राची आवश्यकता असते, ही यातील एक मोठी अडचण आहे. उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळाल्यास चुंबकीय क्षेत्रे अधिक शक्तिशाली व कमी खर्चात बनवता येतील. आतापर्यंत अणूंच्या एकत्रीकरणातून ऊर्जा मिळवण्यासाठी शाखळा गेली ३० वर्षे प्रयत्न करत आहेत; परंतु अद्याप ते प्रत्यक्षात शक्य झालेले नाही. कदाचित उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळाल्यास ते शक्य होईलही. मग मानवजातीला सौरऊर्जप्रमाणेच कधीही न संपणारा ऊर्जेचा एक नवा स्रोत मिळेल.

ज्या शास्त्रज्ञांनी प्रथम, उच्च तापमानाला अतिवाहकता असते असा शोध लावला, त्यांना १९८७ साली नोबेल पारितोषिक देण्यात आले याचे म्हणूनच आश्चर्य वाटत नाही. स्वितज्जर्लंडचे के. ॲलेक्स म्युलर व पश्चिम जर्मनीचे जे. जॉर्ज बेह्नोर्झ हे ते दोन शास्त्रज्ञ होत.

शास्त्रज्ञांना 'केवल शून्या' बाबत कुतूहल होते व त्याच्या शक्य तितके जवळ जाण्याचा त्यांनी प्रयत्न केला व त्यातूनच इतक्या शीत तापमानाचा निरनिराक्ष्या द्रव्यांवरील परिणाम त्यांनी अभ्यासला, त्यातूनच या नव्या क्षेत्राची सुरुवात झाली.